

**EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL POR LA PRESENCIA DE CROMO
TOTAL EN EL AGUA DEL RÍO BOGOTÁ, EN EL TRAMO COMPRENDIDO
ENTRE VILLAPINZÓN Y SUESCA.**

GINA YULIETH CASTAÑEDA ARDILA

WENDY JULIANA FLORIAN MURCIA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ COLOMBIA
2019**

**EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL POR LA PRESENCIA DE CROMO
TOTAL EN EL AGUA DEL RÍO BOGOTÁ, EN EL TRAMO COMPRENDIDO
ENTRE VILLAPINZÓN Y SUESCA.**

GINA YULIETH CASTAÑEDA ARDILA
WENDY JULIANA FLORIAN MURCIA

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: SALUD AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO
AMBIENTAL DEL TERRITORIO

DIRECTORA

Bióloga marina: Ángela María Jaramillo
PhD ingeniería hidráulica y medio ambiente

CODIRECTOR

Ingeniero ambiental y sanitario: Johan Alexander Álvarez Berrio
Msc Toxicología

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ COLOMBIA
2019**

Contenido

RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3. MARCO TEÓRICO	5
3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE ESTUDIO	5
3.1.1. Aspectos generales.....	5
3.1.2 Principales actividades económicas de los municipios	5
3.1.3 Aspectos físicos	5
3.2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN LOS MUNICIPIOS.....	6
3.3 CROMO.....	6
3.3.1 Química del cromo	6
3.3.2 Afectación del cromo a la salud humana	7
3.3.3. Absorción del cromo en el organismo humano.....	7
3.3.4 Grado de toxicidad del cromo en los seres humanos	7
3.4 EVALUACION DE RIESGO AMBIENTAL.....	8
3.4.1 ¿Qué es la evaluación del riesgo?	8
3.4.2 Etapas de la evaluación del riesgo	8
3.5 MODELACION.....	9
3.5.1 Modelación ambiental	9
3.5.2 Transporte de contaminantes en el agua	10
4 METODOLOGIA.....	15
4.1 EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL.....	15
4.1.1 Identificación del peligro.....	15
4.1.2 Estimación de la exposición	17
4.2 CUANTIFICACIÓN DE LA EXPOSICIÓN	17
4.3 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO	19
5 RESULTADOS	19
5.1 IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO	19
5.1.1 Ruta de exposición.....	19

5.1.2	Vía de exposición.....	19
5.2	ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN	20
5.2.1	Determinación del transporte y movimiento del cromo total en el agua 20	
5.2.2	Escenario de exposición.....	24
5.3	CUANTIFICACIÓN DE LA EXPOSICIÓN	47
5.4	CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO	48
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
7	IMPACTO SOCIAL	55
8	CONCLUSIONES.....	56
9	RECOMENDACIONES.....	57
10	BILIOGRAFÍA	58
11	ANEXOS.....	64

Índice de figuras.

Figura 1. Efectos de advección y dispersión en una nube de tinta	10
Figura 2. Propagación de un pulso de contaminación de una sustancia conservativa	13
Figura 3. Localización y ubicación puntos de muestreo	15
Figura 4. Programación en Matlab	20
Figura 5. Vista de la programación de la ecuación de transporte en Matlab	21
Figura 6. Modelación de los datos para la estación aguas arriba de Villapinzón. .	21
Figura 7. Gráficas de modelado vs observado	23
Figura 8. Frailejón género espeletia del páramo de Guacheneque.	25
Figura 9. Piñuela.....	25
Figura 10. Siete cueros	26
Figura 11. Musgos	26
Figura 12. Eucalipto	26
Figura 13. Páramo de Guacheneque	29
Figura 14. Embalse del Sisga	30
Figura 15. Laguna de Suesca	31

Índice de graficas

Gráfica 1. Concentración vs distancia en la primera fecha de muestreo	22
Gráfica 2. Cauce principal Cuenca Alta del río Bogotá campañas 2013 I y II.....	32
Gráfica 3. Cobertura en educación del municipio de Villapinzón.....	36
Gráfica 4. Cobertura en educación del municipio de Chocontá.....	42
Gráfica 5. Cobertura en educación del municipio de Suesca	47
Gráfica 7. Dosis suministrada por grupo etario y estación de muestreo	50
Gráfica 8. Nivel de riesgo por grupo etario y estación de muestreo.	50

Índice de tablas

Tabla 1. Principio de conservación de masa	11
Tabla 2. Concentración de cromo total en la columna de agua antes de Villapinzón, después de Villapinzón, Chocontá y Suesca, mediante el método Peróxido-Alcalino (Técnicas de oxidación compleximétrica-Espectrofotométrica)	16
Tabla 4. Nivel de confianza	21
Tabla 5. Formaciones geológicas presentes y caracterización	27
Tabla 6. Conformación de las cuencas hidrográficas del municipio de Suesca. ...	31
Tabla 7. Puntos de muestreo	32
Tabla 8. Uso del agua del río Bogotá en el municipio de Villapinzón	33
Tabla 9. Población proyectada 2013-2014 Villapinzón	33
Tabla 10. Población cabecera municipal y resto de población de Villapinzón.....	34
Tabla 11. Población por grupo de edades del municipio de Villapinzón	34
Tabla 12. Cobertura de servicios públicos Villapinzón	34
Tabla 13. Instituciones educativas en Villapinzón.....	35
Tabla 14. Tipo de suelo de Villapinzón	36
Tabla 15. Usos del agua del río Bogotá por vereda en el municipio de Chocontá	37
Tabla 16. Población proyectada 2.013 y 2.014 Chocontá.....	38
Tabla 17. Población cabecera municipal y resto de población de Chocontá.....	39
Tabla 18. Población por grupo de edades del municipio de Chocontá	39
Tabla 19. Cobertura de servicios públicos en Chocontá del año 2.014	40
Tabla 20. Instituciones educativas en Chocontá.....	41
Tabla 21. Uso del agua del río Bogotá en el municipio de Suesca	43
Tabla 22. Población proyectada 2.014 Suesca.....	43
Tabla 23. Población cabecera municipal y resto de población de Suesca	44
Tabla 24. Población por grupo de edades del municipio de Suesca.....	44
Tabla 25. Cobertura de servicios públicos en Suesca	45
Tabla 26. Instituciones educativas del municipio de Suesca	46
Tabla 27. Dosis suministradas (mg/kg*día) por grupo etario y género.	48
Tabla 28. Nivel de riesgo por grupo etario y género.	49

RESUMEN

El río Bogotá es receptor de todo tipo de desechos, la presencia de sustancias químicas como los metales pesados producto de actividades antropogénicas son cada vez más comunes, esto ha generado que el deterioro de la calidad de este afluente suponga un problema ambiental y social en la zona. Por lo anterior se plantea una evaluación de riesgo ambiental por la presencia de cromo total en el agua del río Bogotá en el tramo entre Villapinzón y Suesca comprendiendo 4 puntos de muestreo. Se aplicó la metodología propuesta por la universidad de Arizona y se cuantificó el nivel de riesgo para 4 grupos poblacionales. Se obtuvo para todas las estaciones un nivel de riesgo aceptable para el grupo de 0 a 5 años, e inaceptable para los demás grupos etarios. Lo anterior, permitió concluir que el riesgo es distintivo por género siendo el género femenino el que presenta un mayor riesgo exceptuando el grupo de 6-14 años, esto debido a características propias del ser humano como lo es la masa corporal. El punto de muestreo que obtuvo una mayor concentración de cromo total corresponde a aguas abajo del casco urbano de Villapinzón.

Palabras Clave: cromo total, evaluación de riesgo ambiental, nivel de riesgo, río Bogotá

ABSTRACT

The Bogotá River is a recipient of all types of waste, the presence of chemical substances such as heavy metals resulting from anthropogenic activities are increasingly common, this has caused the deterioration of the quality of this tributary to pose an environmental and social problem in the zone. Therefore, an environmental risk assessment is proposed for the presence of total chromium in the water of the Bogotá River in the section between Villapinzón and Suesca, comprising 4 sampling points. The methodology proposed by the University of Arizona was applied and the level of risk was quantified for 4 population groups. For all stations, an acceptable level of risk was obtained for the group from 0 to 5 years, and unacceptable for the other age groups. This allowed us to conclude that the risk is distinctive by gender, with the female gender having the highest risk except for the 6-14 year old group, due to the characteristics of the human being, such as body mass. The sampling point that obtained a greater concentration of total chromium corresponds to downstream of the town center of Villapinzón.

Keywords: total chrome, environmental risk assessment, risk level, Bogotá river

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación en la parte alta del río Bogotá se da principalmente por vertidos provenientes de cultivos de papa, curtiembres de cuero, y de actividad minera, donde estas actividades desechan una gran cantidad de químicos al río destacándose el cromo, además un total de 166.000 habitantes depositan residuos sólidos domiciliarios en este [1].

En el tramo de estudio se evidencia que existen industrias de curtiembres y diferentes cultivos donde cabe destacar el de la papa; las curtiembres se encuentran situadas en los municipios de Villapinzón y Chocontá donde se realiza el proceso de curtido de pieles utilizando sales de cromo [2]. En Colombia las curtiembres son una de las actividades industriales más conocidas por la implementación de compuestos a base de cromo hexavalente [3].

El cultivo de la papa es característico de Villapinzón y Chocontá este requiere de una gran demanda de plaguicidas que en su composición química contienen cromo, estas sustancias químicas necesitan de una alta cantidad de agua para su aplicación, se considera que estos agroquímicos utilizados en el cultivo de la papa son los principales contaminantes de las fuentes hídricas llegando al río Bogotá [4].

En la industria de las curtiembres y los cultivos de la papa en la zona de estudio se utiliza cromo trivalente y hexavalente [2], el segundo se encuentra clasificado en el grupo 1 de elementos carcinogénicos en seres humanos por vía inhalatoria según el Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos (DHHS), la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer de Francia (IARC) y la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA) [5]. La absorción de cromo en los humanos se hace fundamentalmente por tres vías: oral, respiratoria y dérmica. Al entrar en el organismo es distribuido a la médula ósea, pulmones, ganglios linfáticos, bazo, riñón e hígado [6].

Esto representa una problemática ambiental y al mismo tiempo de salud pública, ya que al estar expuesto al cromo se pueden generar diferentes patologías que van desde anemia, fallo renal, problemas hepáticos hasta cáncer [7].

Por ello se realizó un estudio retrospectivo para los años 2013 y 2014 con el objetivo de cuantificar el riesgo ambiental asociado a la toxicidad del cromo total en la columna de agua del río Bogotá en el tramo comprendido entre los municipios de Villapinzón, Chocontá y Suesca, teniendo en cuenta como única vía de exposición, la ingesta es decir el consumo de agua, con el fin de determinar si las personas que consumen el agua están en peligro de contraer distintas enfermedades.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el riesgo ambiental por la presencia de cromo total en la columna de agua del río Bogotá en el tramo comprendido entre los municipios de Villapinzón, Chocontá y Suesca.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar la ecuación de transporte de contaminantes advección dispersión (ADE) en medio líquido con ayuda de un software matemático (MATLAB) para determinar el movimiento del cromo en el agua.
- Determinar la vulnerabilidad mediante una caracterización de la población que se encuentra expuesta al cromo total en la zona de estudio.
- Estimar el índice de riesgo ambiental asociado a la toxicidad del cromo total en la zona de estudio.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE ESTUDIO

3.1.1. Aspectos generales

Villapinzón se ubica en el altiplano Cundiboyacense, la altitud media de la cabecera municipal es de 2.715 m.s.n.m y con temperatura promedio de 13 °C, su superficie total corresponde a 249 km² [8]. El municipio de Chocontá se encuentra a 75 km de Bogotá, la altitud media es de 2.689 m.s.n.m, el clima es templado, con una temperatura media anual de 13°C, limita por el Norte con los municipios de Lenguaque y Villapinzón; al Occidente con Suesca; al Sur con Sesquilé y Machetá y al Oriente con los municipios de Villapinzón, Tibirita y Macheta [9]. El municipio de Suesca se sitúa a una distancia de 63 km de la ciudad de Bogotá, se encuentra a una altura de 2633 msnm [10].

3.1.2 Principales actividades económicas de los municipios

En Villapinzón los sectores agropecuario, industrial y medio ambiente, son los más importantes ya que aportan de manera cuantitativa al desarrollo social y económico. En cuanto a las actividades agrícolas se destaca el cultivo de papa y también actividades pecuarias de la región [9]. La economía en el municipio se encuentra bien representada por la industria de las curtiembres.

En Chocontá El 70 % de la población se dedica a las actividades agropecuarias, el principal producto agrícola es el cultivo de papa, otros cultivos de interés son arveja, fresa, haba. Por otro lado la producción de las flores se ha difundido aceleradamente en la región [11]. En cuanto a Suesca la mayor parte de la población trabaja en el cultivo de flores y otras labores del campo. Una cementera es la única empresa grande en el municipio, pero dada su cercanía al casco urbano, ha representado un grave problema para el ambiente [10].

3.1.3 Aspectos físicos

En Villapinzón la mayor parte del territorio es montañoso, sin embargo presenta sectores planos principalmente en las cercanías al río Bogotá [13]. En Chocontá la mayor parte de sus tierras corresponden al piso térmico frío y están regadas por los ríos Bogotá, Tejar y Sisga, el relieve y las pendientes son muy variados, el drenaje natural es bueno; se observan movimientos en masa en sitios muy localizados [14].

El municipio de Suesca se encuentra ubicado sobre la cordillera oriental siendo un terreno montañoso con gran riqueza hídrica con la presencia del río Bogotá, quebradas y la laguna de Suesca [15].

3.2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN LOS MUNICIPIOS

En los municipios de Villapinzón y Chocontá, se han realizado durante muchos años actividades productivas relacionadas con la manufactura del cuero que se ha industrializado con el tiempo, esta actividad ha ocasionado problemáticas ambientales, sociales y de salubridad pública de gran magnitud, al contaminar las aguas con sustancias químicas que envenenan el río. Cabe resaltar que esta es la actividad económica de esta región, por lo que se dan conflictos sociales y ambientales [16].

Otra problemática en la zona está asociada al uso de plaguicidas organoclorados que son compuestos químicos orgánicos, es decir cuya estructura principal está formada por una cadena de átomos de carbono, y como grupos sustituyentes al átomo de cloro, estos compuestos son de gran toxicidad para los humanos y animales [17].

Por último en cuanto al municipio de Suesca la principal problemática ambiental es producida por la cementera la cual produce material particulado produciendo afectaciones respiratorias a las personas que viven en este municipio [18].

3.3 CROMO

3.3.1 Química del cromo

El cromo es un elemento que se encuentra normalmente en rocas, animales, plantas y el suelo. Puede existir en formas diferentes y éstas determinan su estado líquido, sólido o gas. El cromo (0), cromo (III) y cromo (VI) son las formas más comunes en las que se encuentra este elemento. El cromo (III) y el cromo (VI) se utilizan en el cromado que consiste en el baño de cromo que se aplica a un objeto para que no se oxide [33], en colorantes y pigmentos, en curtido del cuero y en la preservación de la madera y, en cantidades pequeñas, en barrenas para la extracción de petróleo, inhibidores de corrosión, en la industria textil y en el tóner para copadoras. El cromo (VI) y el cromo (0) son formas producidas normalmente por procesos industriales, mientras que las formas trivalentes predominan en organismos vivos [5].

3.3.2 Afectación del cromo a la salud humana

El cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, sobre todo para las personas que trabajan en la industria del acero y textil. La gente que fuma tabaco también puede tener un alto grado de exposición a este elemento. El cromo (VI) es conocido porque causa varios efectos sobre la salud: cuando se encuentra como compuesto en los productos de la piel, puede causar reacciones alérgicas, por ejemplo, erupciones cutáneas; después de ser respirado el cromo (VI) puede causar irritación de la nariz y sangrado de ésta [6].

Otros problemas de salud que son causado por el cromo (VI) son: erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer de pulmón y muerte. Normalmente, el cromo produce dermatitis, por lo general, debido a una exposición en el ambiente ocupacional, siendo la industria del cemento una de las principales fuentes. De igual forma, la inhalación de vapor con compuestos de cromo (VI) puede ocasionar irritación del sistema respiratorio, daños en los pulmones y síntomas de tipo asmático. La ingesta de sales de cromo (VI) puede ocasionar lesiones graves o, incluso, la muerte. Asimismo, el cromo en forma de polvo puede ocasionar llagas en la piel [5].

3.3.3. Absorción del cromo en el organismo humano

La absorción de cromo se hace fundamentalmente por tres vías: oral, respiratoria y dérmica. Al entrar en el organismo es distribuido a la médula ósea, pulmones, ganglios linfáticos, bazo, riñón e hígado. El compuesto que más fácilmente se absorbe es el cromo (VI), ya que es tomado por los eritrocitos e integrado a otras células por el sistema transportador de sulfatos. Como ya se dijo, el cromo (VI) se reduce en cromo (III) intracelularmente en las mitocondrias y el núcleo, reductores intracelulares lo degradan en el citoplasma. La reducción intracelular genera intermediarios reactivos como cromo (V), cromo (IV) y cromo (III), así como radicales libres hidroxilo y oxígeno; estas formas reactivas del cromo son susceptibles de alterar el ADN. Se elimina por vía renal el 60%, en menor grado por heces (vía biliar), cabello, uñas, leche y sudor. En la orina encontramos fundamentalmente cromo (III) formando un complejo con el glutatión, pues el cromo (VI) es reducido en gran parte a cromo (III) [6].

3.3.4 Grado de toxicidad del cromo en los seres humanos

Los compuestos de cromo están clasificados en el grupo 1 de elementos carcinógenos, de acuerdo con la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC). Los compuestos de cromo (VI), se deben considerar carcinógenos potenciales por vía de inhalación según lo establecido en la Norma 29 CFR 1910.1200 de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) [5].

Por otra parte, el Cromo (III) es relativamente inocuo debido a su insolubilidad e incapacidad para atravesar las membranas biológicas; dicha especie constituye un oligoelemento indispensable para procesos bioquímicos y fisiológicos en células superiores, en cantidades muy pequeñas. El Cromo (III) específicamente tiene acciones en el metabolismo de la glucosa, el colesterol y los ácidos grasos, además de desempeñar un papel importante en diferentes reacciones enzimáticas. En pequeñas cantidades, el cromo se considera un nutriente esencial para numerosos organismos, pero en niveles elevados, es tóxico y mutagénico [12]

3.4 EVALUACION DE RIESGO AMBIENTAL

3.4.1 ¿Qué es la evaluación del riesgo?

La evaluación de riesgos es el proceso de estimación de la probabilidad y la gravedad de un hecho dañoso [13]. Al evaluar el medio ambiente se evalúa todo aquello que se encuentre a su alrededor y cómo podría afectar en conjunto.

La evaluación de riesgo ambiental de una manera más específica se describe como un proceso mediante el cual se determina si existe una amenaza potencial que comprometa la calidad del agua, aire o suelo, poniendo en peligro la salud del ser humano como consecuencia de la exposición a todos los productos tóxicos presentes en un sitio, incluyendo aquellos compuestos tóxicos presentes que son producto de actividades industriales ajenas al sitio o cualquier otra fuente de contaminación, y define un rango o magnitud para el riesgo [14].

3.4.2 Etapas de la evaluación del riesgo

Para la evaluación de riesgo existen documentos que plantean las etapas de acuerdo a las necesidades de los entes y en dependencia de donde se vayan a adoptar estas etapas. En el caso de la evaluación de riesgo que se formuló por la Universidad de Arizona se plantean cuatro pasos principales, que son mencionados a continuación.

- **Identificación del peligro:** Consiste en la recolección de datos para determinar qué contaminantes están presentes, donde y en qué concentraciones, además de los tipos de efectos a la salud puedan provocar.
- **Evaluación dosis-respuesta:** El propósito de este paso es calcular la dosis (cantidad de exposición humana) a la que se puede observar un efecto adverso.
- **Evaluación de la exposición:** Los potencialmente afectadas o poblaciones vulnerables y las vías de exposición son identificadas con el fin de calcular la cantidad de exposición, en función de la frecuencia, la duración y la cantidad de contacto con el contaminante.

- **Caracterización del peligro:** Se integra toda la información obtenida de los componentes anteriores para determinar el riesgo actual de exposición a la sustancia tóxica [19].

3.5 MODELACION

3.5.1 Modelación ambiental

Los modelos son considerados una representación simplificada de la realidad, su funcionamiento se basa en técnicas matemáticas y de programación; por lo tanto su uso requiere de menor presupuesto, y de usarse correctamente se obtienen información valiosa [20]; por ello son cada vez más usados por entidades ambientales. En un contexto específico el desarrollo de modelos de calidad para agua superficial inicio con Streeter y Phelps ya que ellos fueron los primeros en construir un modelo llamado SP con el cual controlaron la contaminación en el río Ohio en Estados Unidos [20]. El desarrollo de estos modelos de calidad de agua superficial ha ido avanzando muy rápidamente abarcando un solo factor de calidad hasta múltiples factores, desde modelos de estado estacionario hasta modelos dinámicos.

En la actualidad se han desarrollado más de 100 modelos de calidad del agua superficial [20]. Aunque se han desarrollado modelos interesantes y se cuenta con catálogos importantes como el de la EPA, cada uno de ellos es usado en tareas diferentes, algunos se usan para obtener información sobre efectos en los ecosistemas acuáticos, contaminación de sedimentos y eutrofización, sustancias químicas en el agua, entre otros. Muchos de los modelos requieren para su funcionamiento de una licencia lo cual supone un costo, una alternativa que puede llegar a ser gratuita es el desarrollo de modelos propios, por medio de programas que son de fácil acceso.

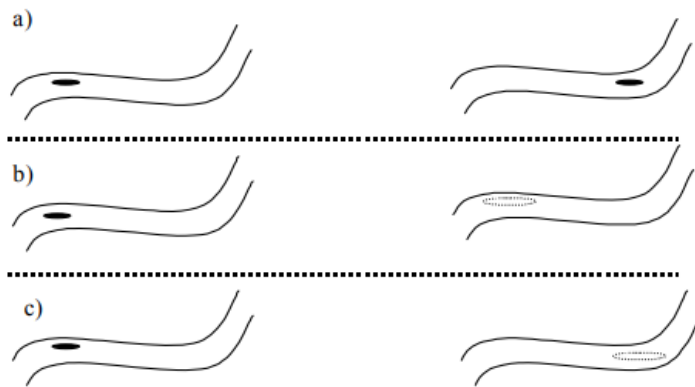
Por medio de la estimación de la exposición es posible conocer el escenario de exposición lo que quiere decir: lugar donde las poblaciones entran en contacto con los medios contaminados, el sitio se describe en función de las variables que puedan tener influencia sobre la movilidad de la sustancia; este desplazamiento de los tóxicos es importante ya que determina hacia donde emigró un tóxico que puede afectar no solo el medio en el que se transporta sino además poblaciones con la que entre en contacto. Se acude a la modelación ambiental, ya que permite conocer el transporte y destino de los contaminantes. Para este caso en particular se quiere conocer la movilidad del cromo total en el agua del río Bogotá, para lograr este objetivo se hará uso de la ecuación de transporte de contaminantes en un medio acuático [21].

3.5.2 Transporte de contaminantes en el agua

La ley de conservación de masa en fluidos es esencial para obtener la ecuación diferencial del transporte de solutos en un canal abierto, dicho transporte se realiza gracias a dos fenómenos: la difusión y la advección [22]. El soluto es cualquier sustancia que se disuelve en un medio de disolución llamado solvente [23], puede ser contaminante, como pesticidas, hidrocarburos, metales pesados o sustancias naturales como por ejemplo los gases disueltos o nutrientes [24].

La conservación de la cantidad de sustancia describe el proceso “completo” de la advección y dispersión de compuestos o elementos disueltos para una sustancia conservativa [25]. Donde la advección, corresponde al movimiento de material disuelto o particulado fino a la velocidad de la corriente en cualquiera de las tres direcciones (longitudinal, lateral y vertical); la dispersión, que corresponde al proceso en el cual las sustancias son mezcladas en la columna de agua y que también ocurre en las tres direcciones [25]. Un ejemplo para entender más fácilmente estos procesos sería la liberación de tinta o una sustancia conservativa en el centro de una corriente de agua que fluye libremente. La tinta forma una nube que se mueve aguas abajo con el flujo de agua, este proceso se conoce con el nombre de Advección, describe el transporte de solutos a la velocidad del flujo con la velocidad media. La nube se mueve hacia aguas abajo, y los procesos de mezcla a escala pequeña incrementan el volumen en contacto con la tinta y por lo tanto disminuye la concentración. A este proceso se le ha denominado Dispersión [24]. Lo anterior se puede interpretar mejor con la figura 1.

Figura 1. Efectos de advección y dispersión en una nube de tinta.



Fuente: Díaz y Díaz, Universidad de los Andes 2002 [26]

El principio de conservación de masa puede ser formulado como:

Tabla 1. Principio de conservación de masa

Tasa de variación de masa en el volumen de control	=	Tasa de variación de masa en el volumen de control debido a advección	+	Tasa de variación de masa en el volumen de control debido a difusión	-	Tasas de reacciones de transformación (degradación)
--	---	---	---	--	---	---

Fuente: J. Cubillos, Universidad de la Serena, 2013 [25]

Matemáticamente la conservación de masa se expresa como:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) + S_L + S_B + S_K$$

Ecuación 1

Donde:

C: es la concentración del elemento o compuesto de interés [mg/L]

t: es el tiempo [días]

U_x, U_y, U_z : son las velocidades advectivas (del agua) longitudinal, lateral y vertical [m/día]

E_x, E_y, E_z : son los coeficientes de dispersión longitudinal, lateral y vertical [m²/día],

S_L : es la tasa de carga directa y difusa [g/m³-día]

S_B : es la tasa de carga de borde o contorno [g/m³-día]

S_K : es la tasa de transformaciones cinéticas totales, positiva si es una fuente y negativa si es un sumidero [g/m³-día] [25].

En cursos de agua para los cuales la escala espacial en el sentido principal del escurrimiento es sustancialmente mayor a las escalas espaciales del ancho y la profundidad, es posible suponer condiciones de homogeneidad vertical y lateral de las concentraciones del constituyente estudiado. De tal modo, mediante la integración con respecto a las coordenadas x y z de la ecuación 1, se obtiene la siguiente ecuación unidimensional [27]. Donde A es el área transversal [m²]. Esta ecuación representa las tres mayores categorías en los procesos involucrados en la calidad del agua: (a) transporte, (b) carga y (c) transformación [28].

$$\frac{\partial}{\partial t}(AC) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\underbrace{-U_x AC + E_x A \frac{\partial C}{\partial x}}_a \right) + \underbrace{A(S_L + S_B)}_b + \underbrace{AS_K}_c$$

Ecuación 2

Con el fin de dar cumplimiento a uno de los objetivos planteado en este estudio es necesario no tomar en cuenta procesos de carga y de transformación que se pudieran presentar en el afluente de estudio, de este modo la ecuación 2 se simplifica de la siguiente manera, donde se asume A (área transversal) como constante con respecto al tiempo y la distancia. Siendo la forma más simple de la ecuación de advección y dispersión para un río unidimensional la presentada a continuación.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = u_x \frac{\partial C}{\partial x} + E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Ecuación 3

Esta ecuación puede no ser exacta para muchas aplicaciones de modelación donde la velocidad del río y el coeficiente de dispersión varían con la distancia en el sentido longitudinal, pero puede ser de utilidad si es aplicada en segmentos del río en donde dichos parámetros (U_x velocidad advectiva y E_x coeficiente de dispersión) son constantes. Así entonces, el río puede ser segmentado en partes donde el flujo y la morfología de cauce permanecen relativamente constante [29].

Existen soluciones cerradas de la ecuación 3 si se considera la situación simplificada de flujo uniforme. Para condiciones iniciales consistentes en el aporte instantáneo ("pulso") de una masa M [mg/l] de contaminante en el punto $x = 0$ del curso, la ecuación 4 da la solución:

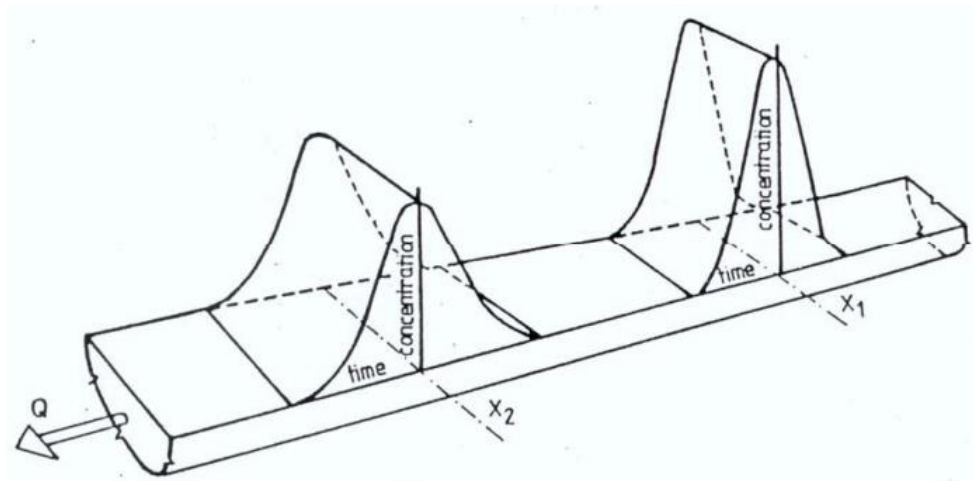
$$C(x, t) = \frac{M}{A\sqrt{4\pi E_x t}} e^{-\frac{(x-U_x t)^2}{4E_x t}}$$

Ecuación 4

La ecuación 4 describe la propagación de un contaminante, que se va achatando a medida que se traslada, tal como se ilustra en la figura 3. Dado el carácter conservativo del contaminante, se conserva el “área” debajo de la campana [30].

Una sustancia conservativa es aquella que no es afectada por procesos naturales, en principio dichas concentraciones solo son reducidas por dilución. Dentro de este tipo de contaminación se encuentran muchas sustancias inorgánicas. Su estructura química se mantiene a lo largo del tiempo a pesar de su interacción con los materiales del medio [34], como ejemplo de estas sustancias se encuentran los metales pesados [30].

Figura 2. Propagación de un pulso de contaminación de una sustancia conservativa



Fuente: A. Menéndez, universidad tecnológica Nacional, 2010 [30]

La curva de concentración vs tiempo para un punto dado x , ubicado aguas abajo de la fuente contaminante, tiene su máximo valor cuando $t=x/U_x$, que es el tiempo de viaje desde la fuente de contaminación al punto de análisis. Ese valor máximo vale, entonces [30],

$$C_{max}(x) = \frac{M}{A \sqrt{4\pi E_x \frac{x}{U_x}}}$$

Ecuación 5

La ecuación 5 es una fórmula muy importante desde el punto de vista práctico, ya que permite estimar las concentraciones máximas a lo largo del curso resultantes de una inyección "accidental" de contaminante de masa M en el punto $x=0$ [30].

Donde:

M =masa del contaminante [mg/l]

A = área transversal del río [m^2]

E_x =coeficiente de dispersión longitudinal [m^2 /día]

U_x = velocidad del agua [m/día]

En la situación de una evaluación preliminar de contaminación o en ausencia de datos de campo, el coeficiente de dispersión puede ser estimado en base a expresiones empíricas publicadas en la literatura [30].

De acuerdo a Fischer se propone la siguiente ecuación, la cual se deduce a partir de una simplificación a una solución de la ecuación que él mismo había propuesto en el 1967 [32].

$$E_x: 0.011 \frac{U^2 * B^2}{H * U^*}$$

Ecuación 6

E_x : Coeficiente de dispersión

U : velocidad del agua m/s

B : ancho de la sección m

H : profundidad del cauce m

U^* : velocidad de corte m/s

La U^* es decir la velocidad de corte se halla de la siguiente forma:

$$U^*: \sqrt{g * H * S}$$

Ecuación 6

Siendo g : gravedad [m/s^2], H : profundidad [m] y S : pendiente [Adimensional]

4 METODOLOGIA

4.1 EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL

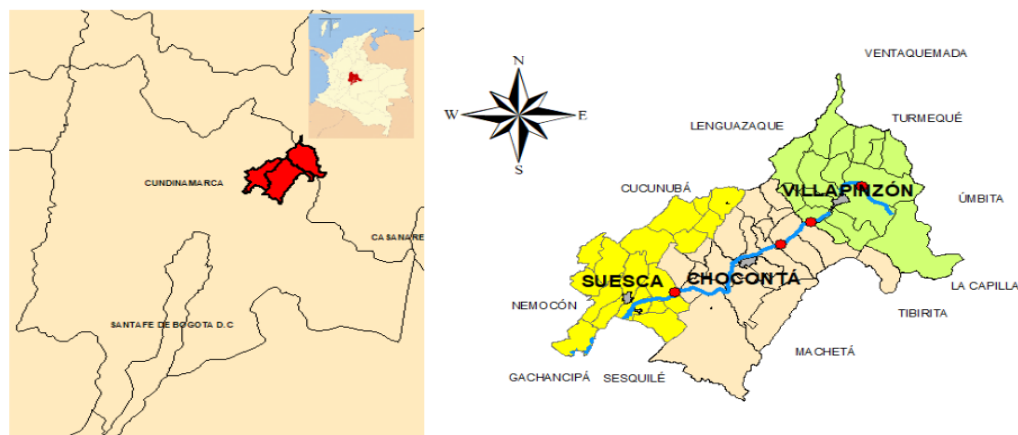
Riesgo se define como la probabilidad de que algo ocurra. Se define también como la probabilidad de que ocurra un efecto en la salud después de que una persona haya estado expuesta a una cantidad específica de algo peligroso. La evaluación de riesgo es el proceso mediante el cual se recaba la información disponible sobre los efectos tóxicos de una sustancia química y se la analiza a fin de determinar el riesgo posible en relación con la exposición [65].

La metodología desarrollada en este proyecto está basada en la Guía para la evaluación del riesgo ambiental de la universidad de Arizona, la cual contiene 4 subfases

4.1.1 Identificación del peligro.

Entre los años 2013 a 2014 el grupo de investigación de Sostenibilidad Ambiental de la facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A ejecutó el proyecto de investigación denominado “Transformación Ambiental a lo largo del Curso Alto del Río Bogotá”, a cargo de los investigadores Loreta Rosselli, Luz Marina Cabrera y Angela María Jaramillo Londoño [62]. El objetivo principal de este proyecto era evaluar los cambios de la biota y de la estructura trófica acuática con relación a la calidad del agua y su papel en la transferencia de contaminantes, para lo cual fueron tomadas muestras de agua, sedimentos y vegetación ribereña a lo largo de diferentes puntos de muestreo y en diferentes épocas del año. Dentro de los análisis realizados se tomaron datos de cromo en cuatro puntos de muestreo el tramo del río Bogotá comprendido entre Villapinzón y Suesca, los cuales serán usados en este trabajo de grado, estos puntos son: Aguas arriba de Villapinzón, Aguas abajo de Villapinzón, Chocontá y Suesca.

Figura 3. Localización y ubicación puntos de muestreo



Elaboración propia

Con un registro de 6 muestreos en total en diferentes fechas, los cuales tuvieron lugar durante dos años, 3 en el año 2013 y 3 en el 2014, donde para cada punto la recolección de muestras se hizo por triplicado en cada fecha de muestreo, como se observa en la tabla 2. En cada sitio de muestreo se trabajó de conformidad con los protocolos de monitoreo y seguimiento de la Calidad de agua – IDEAM [35] y los señalados en EPA 1994 [36].

Para el análisis del cromo total se utilizó el laboratorio de química de la Universidad de ciencias aplicadas y ambientales U.D.C.A.

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron almacenadas según los protocolos de custodia de las muestras de agua [35]. El método que se utilizó para la determinación del cromo total fue el Peróxido-Alcalino (Técnicas de oxidación compleximétrica-Espectrofotométrica) [32] y el procedimiento se encuentra descrito en el Anexo 1.

Tabla 2. Concentración de cromo total en la columna de agua antes de Villapinzón, después de Villapinzón, Chocontá y Suesca, mediante el método Peróxido-Alcalino (Técnicas de oxidación compleximétrica-Espectrofotométrica)

Fecha	AGUAS ARRIBA DE VILLAPINZÓN		AGUAS ABAJO DE VILLAPINZÓN		CHOCONTÁ		SUESCA	
	concentración mg/l	Promedio	concentración mg/l	Promedio	concentración mg/l	Promedio	concentración mg/l	Promedio
25/04/13	0,193 0,205 0,199	0,199	0,219 0,394 0,350	0,321	0,077 0,098 0,044	0,420	0,383 0,394 0,350	0,375
09/07/13	0,142 0,197 0,186	0,175	0,208 0,197 0,164	0,190	0,390 0,426 0,465	0,426	0,186 0,164 0,179	0,176
08/10/13	0,382 0,404 0,397	0,395	0,623 0,688 0,601	0,638	0,459 0,535 0,481	0,492	0,173 0,147 0,167	0,163
20/01/14	0,525 0,547 0,612	0,561	1,159 1,170 1,159	1,163	0,372 0,251 0,372	0,332	0,700 0,645 0,645	0,663
05/05/14	0,557 0,579 0,645	0,594	1,191 1,201 1,195	1,196	0,404 0,284 0,404	0,364	0,7325 0,6778 0,6778	0,696
01/07/14	0,328 0,470 0,524	0,441	0,481 0,568 0,623	0,558	0,470 0,535 0,557	0,521	0,4154 0,5794 0,4373	0,477

Fuente: [62]

Según lo mencionado anteriormente se evidencia que existe un peligro para la población aledaña a la zona de estudio debido a las concentraciones de cromo en

el agua por ello se procede a realizar las siguientes etapas de la evaluación de riesgo posterior a esta.

4.1.2 Estimación de la exposición

Dentro de estas fases se tienen 2 subfases

- Determinación del transporte y movimiento del cromo total en el agua.

Por medio de la ecuación (ADE) advección dispersión para un medio líquido se determinó el transporte y destino de cromo total en el tramo del río Bogotá comprendido entre Villapinzón hasta Suesca, con ayuda de un modelo matemático el cual permitió establecer cómo se está moviendo este contaminante en el agua y en qué lugares se está alcanzando una mayor concentración de cromo total.

- Escenario de exposición

Para determinar el escenario se realizó una descripción fisicoquímica de la zona donde las características físicas importantes del escenario de exposición son: clima, vegetación, topografía, edafología (composición y estructura de suelos) y geohidrología (estratos en el subsuelo, acuíferos subterráneos y corrientes superficiales) [19] esta información está basada en fuentes de información secundarias. En cuanto a las características químicas, corresponden a los datos que se tienen del muestreo en el agua del río Bogotá mencionado anteriormente, de igual manera se hizo una caracterización a la población que podría encontrarse en riesgo identificando el total de la población y poblaciones especiales (niños menores de 5 años, mujeres en embarazo, adultos mayores).

4.2 CUANTIFICACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

En esta fase se hallará la Dosis Suministrada (D_s) esta se calculará para el cromo total teniendo como única ruta de exposición el agua. Se expresa en términos de la cantidad de la sustancia (mg) consumida por unidad de masa corporal (Kg) por unidad de tiempo (día) [19].

La Dosis suministrada (D_s) se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$D_s = \frac{(Concentración) * (Tasa de contacto) * (Frecuencia) * (Duración)}{(Masa corporal) * (Tiempo de promediación)}$$

Ecuación 7

C = concentración promedio durante el período de exposición [mg/l]

T = tasa de contacto, la cantidad de medio contactado por unidad de tiempo [l]
 F = frecuencia de exposición [Años]
 D = duración [Años]
 M = masa corporal [Kg]
 P = Promedio de vida [Años]

Concentraciones de exposición. La concentración de exposición C se calcula con base en los datos de concentraciones de un contaminante hallado en un muestreo ambiental [19].

Tasa de contacto. Representa la cantidad de medio contaminado contactado por unidad de tiempo o por evento. Si se dispone de datos estadísticos de tasas de contacto se debe de seleccionar el límite superior de confianza percentil 90 o 95 del promedio. Si no se cuenta con información estadística, entonces se debe seleccionar por experiencia, un valor similar al del percentil 95. Por ejemplo; la tasa de contacto para sustancias tóxicas en el agua potable es de 2 litros por día. Este es el valor del límite superior de confianza en el 95 percentil del promedio de ingesta diaria de agua en adultos en Estados Unidos [19]

Frecuencia y duración de la exposición. Estas dos variables se utilizan para calcular el tiempo total de exposición. Los valores que pueden tomar dependen del sitio, sin embargo es muy difícil que existan datos estadísticos sobre un sitio en particular [19].

En algunos casos se pueden obtener valores estadísticos nacionales. Se debe seleccionar un valor estimado para el tiempo de exposición. Por ejemplo; en algunos casos se pueden utilizar períodos de 30 años para el caso de residentes (valor esperado del tiempo de residencia en un lugar) y en otros casos, es más conveniente usar 70 años (expectativa de vida). Las frecuencias de exposición y las duraciones de las exposiciones deben ser consistentes con las tasas de contacto seleccionadas. Si se usa una tasa de contacto basada en observaciones de largo plazo, como en el caso de contar con la tasa del consumo anual de pescado, entonces se debe calcular la tasa de contacto y la frecuencia de exposición expresada días y en días-1 (365 días = 1 año) respectivamente [19].

Masa corporal. Para niños se utiliza como valor de peso corporal el valor estándar encontrado en las tablas de "peso para la edad". La exposición vitalicia se estima por un promedio ponderado por tiempo de exposiciones estimadas para todos los grupos etarios. Cuando los contactos son, más o menos, constantes durante el período vital, como la ingesta de agua, se utiliza el valor de 70 Kg. como valor de la masa corporal [19].

Tiempo de promediación. El tiempo de promediación seleccionado depende del tipo de efecto tóxico que se esté evaluando. Cuando se evalúan exposiciones a

sustancias tóxicas para el desarrollo, los insumos se calculan promediando sobre el período del evento de exposición. Para sustancias tóxicas agudas se promedia sobre el tiempo más corto que se conoce, en el que se puede producir un efecto, normalmente un día. Cuando se evalúan exposiciones de largo plazo a tóxicos no cancerígenos las dosis se calculan promediando los insumos durante el período de exposición [19].

4.3 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

En esta última etapa comparó el valor de la dosis suministrada con los valores de la normatividad colombiana e internacional para el consumo de agua contaminada con cromo, con el fin de determinar si el riesgo es tolerable es decir que no haya una afectación significativa en la salud de la población [19].

Además de ello se halló el nivel de riesgo siguiendo la siguiente fórmula:

$$Riesgo = \frac{D_s}{D_d R}$$

Ecuación 8 [19]

D_s: dosis suministrada

D_dR: dosis de referencia para exposiciones orales

Una vez se tiene el nivel de riesgo se establece que, si es el valor es menor a uno el riesgo es aceptable, pero si excede dicho valor el riesgo es inaceptable.

5 RESULTADOS

5.1 IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO

Peligro es la fuente del riesgo y se refiere a una sustancia o a una acción que puede causar daño [19].

Como se puede observar en la tabla 2 del capítulo de metodología, se evidencian concentraciones de cromo total en el agua, por ello se supone un peligro para la población aledaña a la zona de estudio, debido a esto se realizaron las siguientes etapas de la evaluación de riesgo posterior a la identificación del peligro.

5.1.1 Ruta de exposición

Se estableció una única ruta de exposición directa, donde el agua del río Bogotá en la zona de muestreo hace punto de contacto entre la población expuesta y el cromo total.

5.1.2 Vía de exposición

El cromo tiene diferentes vías de exposición pero en este trabajo se tomará como única vía la ingestión es decir el consumo del agua que contiene cromo total.

5.2 ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

5.2.1 Determinación del transporte y movimiento del cromo total en el agua

Para determinar el transporte y movimiento del cromo en la columna de agua se utilizó la siguiente ecuación

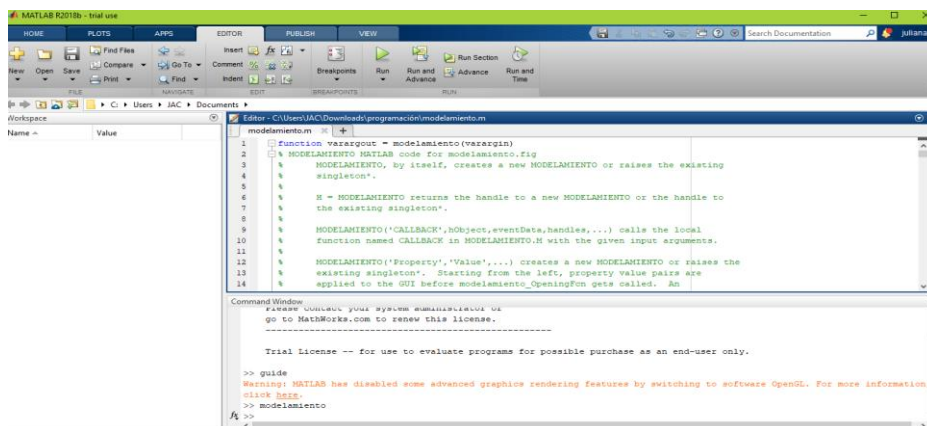
$$C(x, t) = \frac{M}{A\sqrt{4\pi E_x t}} e^{-\frac{(x-U_x t)^2}{4E_x t}}$$

Ecuación 4

Esta ecuación es conocida como ADE (Ecuación advección dispersión) la cual permite hallar una concentración de un contaminante conservativo en el agua teniendo en cuenta las características geomorfológicas del tramo donde se encuentra la sustancia.

Se realizó una programación en Matlab para establecer la concentración en cada punto de muestreo. En la figura 4 se muestra una fracción del código de las fórmulas utilizadas en la respectiva programación.

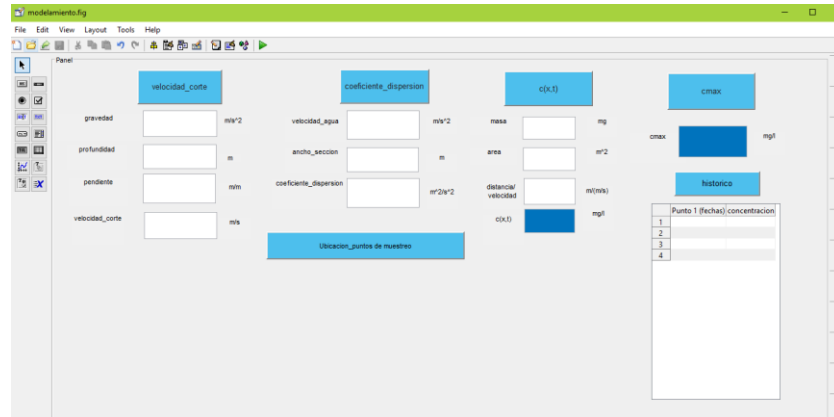
Figura 4. Programación en Matlab



Elaboración propia

En la figura número 5 se observa el panel de control donde se puede modificar la estructura del mismo, pudiendo insertar o eliminar botones de acceso a información.

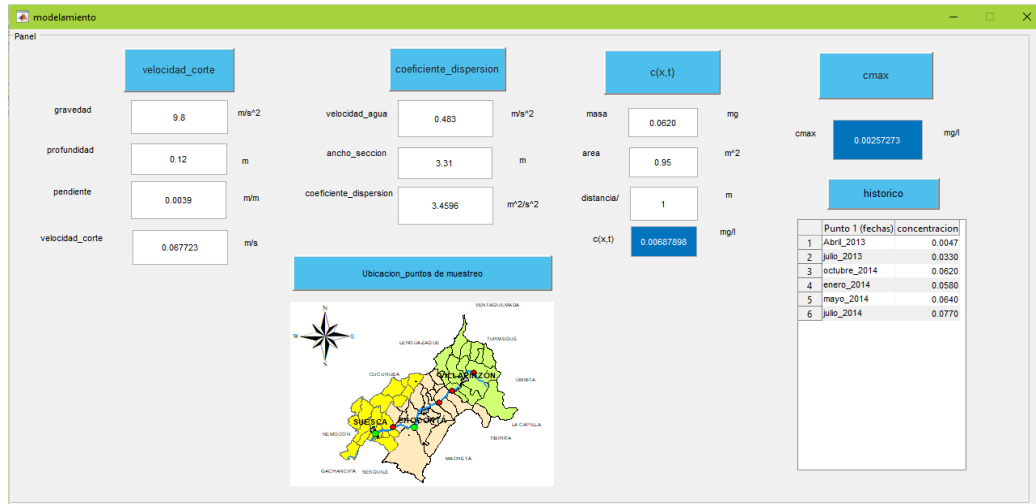
Figura 5. Vista de la programación de la ecuación de transporte en Matlab



Elaboración propia

Por último se tiene el panel de control donde finalmente se insertan los datos para obtener el resultado final, que para este caso es la concentración de cromo con respecto a la distancia y la concentración máxima.

Figura 6. Modelación de los datos para la estación aguas arriba de Villapinzón.



Elaboración propia

Para hallar la confiabilidad de la modelación se utilizó el método del error medio cuadrático, en la tabla 4 se puede observar el nivel de confianza por cada estación de muestreo.

Tabla 3. Nivel de confianza

Estación	Nivel de confianza (%)
----------	------------------------

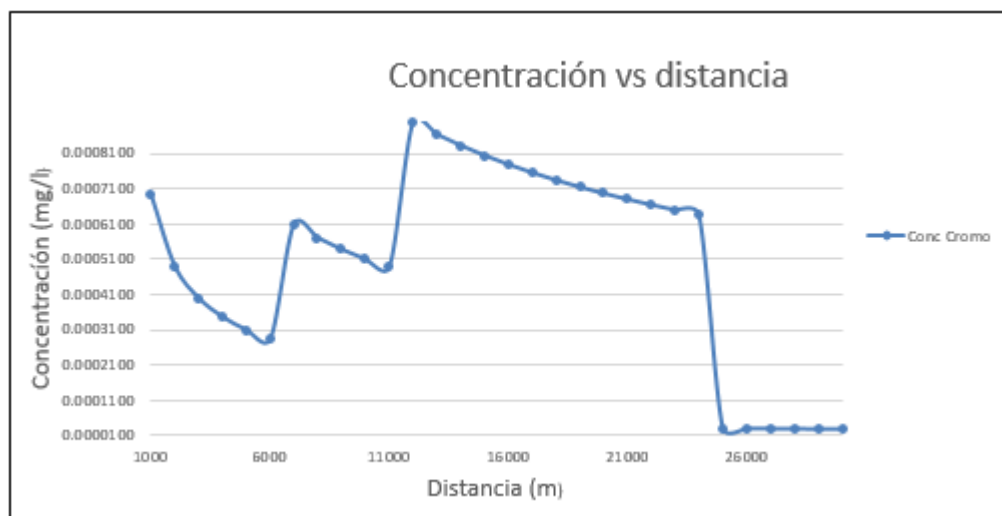
Aguas arriba de Villapinzón	69.84
Aguas debajo de Villapinzón	52.19
Chocontá	65.11
Suesca	56.17

Fuente: elaboración propia

El rango de confianza está entre el 50 y 70 %, indicando que el error de incertidumbre de los datos se encuentra entre un 30 a un 50%, esto se debe a que se contó con una baja cantidad de datos por ello el nivel de confianza no es tan alto como se quisiera, adicionalmente debido a que el modelo no cuenta con factores como: puntos de vertido y otras características de un sistema normal, que fue necesario descartar debido a la complejidad y con el fin de cumplir con el objetivo planteado.

Con los datos proporcionados por la programación se procedió a realizar las gráficas de la concentración modelada y la concentración hallada en campo (observado) y la gráfica de la concentración modelada vs la distancia.

Gráfica 1. Concentración vs distancia en la primera fecha de muestreo

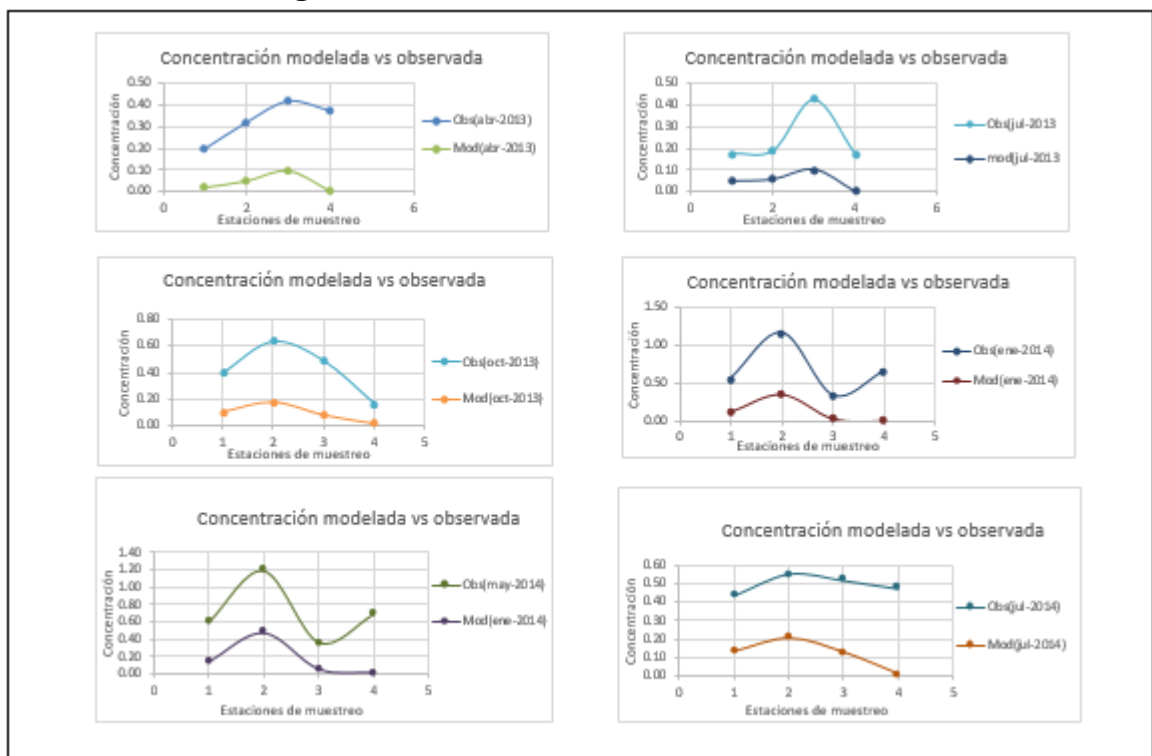


Elaboración propia

La gráfica 1 relaciona los datos de concentración modelada con la distancia, en dicha gráfica es posible observar diferentes picos, esto se debe a que se cuenta con 4 estaciones de muestreo, las cuales se ubican aguas arriba y aguas abajo del municipio de Villapinzón, Chocontá y Suesca.

Para el primer punto se tiene una concentración que con la distancia disminuye, una vez pasa por el casco urbano de Villapinzón esta concentración aumenta; en el recorrido se presenta el mayor pico el cual se debe a los vertimientos que se han realizado hasta ese punto de muestreo donde es posible evidenciar un aumento significativo de la concentración, finalmente debido a la distancia y a una posible recuperación del río debido a característica geomorfológicas del cauce en el municipio de Suesca la concentración disminuye de una manera muy notable por lo cual se deduce que existe un mayor disolución del contaminante

Figura 7. Gráficas de modelado vs observado



Elaboración propia

En la figura 7 se pueden observar las gráficas de concentración modelada vs observada en cada fecha de muestreo, en abril del 2013 la estación 3 que corresponde a Chocontá tiene un mayor concentración, en julio del 2013 igualmente Chocontá alcanza una mayor concentración, en octubre del 2013, enero, mayo y julio del 2014 aguas abajo de Villapinzón tiene la mayor concentración.

Cabe resaltar que la concentración observada es decir la tomada en campo es mayor que la concentración modelada esto se debe a que en esta última se están teniendo en cuenta todos los parámetros geomorfológicos del cauce.

Por último se deduce que las estaciones donde se presentó una mayor concentración de cromo total son aguas abajo de Villapinzón y Chocontá, esto se debe a la problemática de curtiembres que existía y existe en la zona para los años 2013 y 2014, además de todos los vertimientos de plaguicidas por los diferentes cultivos en la zona y la fecha donde se obtuvo la mayor concentración en las cuatro estaciones de monitoreo corresponde a Mayo del 2014, esto se debe a que según históricos de precipitaciones de la CAR el volumen de precipitación caído en la cuenca alta del río Bogotá durante el mes de mayo del año 2014 fue el más deficitario comparado con las demás cuencas del territorio CAR, al alcanzar un 78% frente al promedio histórico. Como consecuencia de las bajas precipitaciones, las fuentes hídricas no se recuperaron y continuaron con niveles por debajo del promedio histórico [57], haciendo que las concentraciones de los contaminantes no disminuyeran por la disminución de caudal.

5.2.2 Escenario de exposición

- **Descripción del sitio**

Provincia de Almeidas

También llamada Sabana Norte, localizada en el nororiente de Cundinamarca, representa el 5,5% del área total del departamento. Está conformada por siete municipios: Chocontá (cabecera provincial), Machetá, Manta, Sesquilé, Suesca, Tibirita y Villapinzón. Limita por el norte con la provincia Ubaté, por el sur con la provincia Guavio, por el oriente con el departamento de Boyacá, y por el occidente con la provincia Sabana Centro. Según el último Censo general [37], la población total de la provincia Almeidas es de 72.513 habitantes (3,3% de participación) y ocupa el decimoprimer puesto en población entre las quince provincias de Cundinamarca [38].

Con base en lo anterior los tres municipios de estudio se encuentran localizados en dicha provincia, siendo el municipio de Chocontá la capital de la provincia. A continuación se describen las características físicas, químicas y de población de los municipios de Villapinzón, Chocontá y Suesca.

- **Caracterización físico biótica**

- ❖ **Condiciones climáticas**

Villapinzón: reporta un promedio anual de precipitación total de 741.7 mm; un valor promedio anual de evaporación de 622.2 mm. En cuanto a la radiación solar se presenta un promedio anual de 392 Cal/cm². El régimen de lluvias es monomodal, con un periodo seco marcado entre enero y febrero. En cuanto a valores medio mensuales de caudales el río Bogotá presenta promedio de 0.879 m³/seg y mínimos anuales de 0.136 m³/seg; con respecto a la dirección y velocidad media mensual del viento, el promedio anual es de 2.2 m/seg, con una dirección predominante Noreste [10].

Chocontá: reporta valores que se encuentran alrededor de los 800 mm que corresponde a las estaciones ubicadas en el municipio de Chocontá la cuales son Estación Iberia con 828.9 mm. Represa del Sisga con 883.3 mm. Estación Saucio 816.4 mm. y Estación de Villapinzón 686 mm. Presenta un régimen monomodal en cuanto a la distribución temporal de lluvias. Los vientos soplan en sentido noreste, sureste y de norte a sur. El registro medio de temperatura es de 12.1 °C, con valores promedios entre 9.6 y 14.6 °C. El valor mínimo es influenciado por su cercanía a las zonas montañosas en su Costado Oriental y el agua del embalse del Sisga. La temperatura media del centro Urbano corresponde a 13 °C. Presenta una alta humedad relativa con un valor promedio de 83 %, que a su vez está entre una mínima de 64% y máxima de 93% [39].

Suesca: se presentan valores de precipitación de 800 a 1000 mm anuales hacia el lado norte, mientras que hacia el sur del municipio se presentan precipitaciones de 600 a 800 mm anuales, los regímenes de precipitación son bimodales. La temperatura media es de 14°C, en sus partes más altas se tienen valores de 6 °C [10]. El clima de Suesca en su totalidad es frío y generalmente seco, acorde a su relieve y altitud media de 2.665 m.s.n.m., adquiriendo en sus mayores elevaciones condiciones de clima de páramo [15]. Los vientos son de componente Este, predominantemente del Este-Sureste, dirección donde se hacen presentes velocidades entre 2 y 8,2 m/s. El 1,8 de las velocidades se encuentran por debajo de 2 m/s, el 20 %, en velocidades de 2 a 4 m/s el 14,7 % y en el cuarto nivel es de 0,9% de los datos, para una frecuencia total de 37,4% [40].

❖ Vegetación

Villapinzón: En el nacimiento del río Bogotá, las plantas que más caracterizan la vegetación del páramo son el frailejón género Espeletia, la paja, los cardones, piñuelas y otras bromeliáceas, lo mismo que los chusques y las cañuelas en las partes más bajas [41].

Figura 8. Frailejón género espeletia del páramo de Guacheneque.



Fuente: Páramo Guacheneque y RFP Nacimiento del Río Bogotá [42].

Figura 9. Piñuela



Fuente: Páramo de Guacheneque y Villapinzón [43].

Chocontá: la vegetación incluye bosques nativos y praderas de pastoreo de ganado vacuno y ovino. Algunas de las especies de la flora que se pueden apreciar en este lugar son el pino ciprés y el pino pátula, representativos del bosque alto andino, además del siete cueros, alisos, encenillo, retamo espinoso, charme, cucharo, frailejón, musgos, hongos y líquenes [9].

Figura 10. Siete cueros



Fuente: Colombia más positiva [44]

Figura 11. Musgos



Fuente: Biopedia [45]

Suesca: la vegetación predominante a los alrededores del río Bogotá es la de bosques de acacias y eucaliptos, cuenta con un gran parche de bosque nativo. Muchos de estos bosques han sido sustituidos por el cultivo de las flores, esta actividad se ha convertido en la principal fuente de ingresos del municipio [46].

Figura 12. Eucalipto



Fuente: La Naturaleza [47]

❖ Topografía

Villapinzón: ha sido afectado por fenómenos como vulcanismo y tectónica de placas acompañados con procesos de erosión. La caracterización geomorfológica del municipio presenta parámetros y características como:

Aluvión y Coluvión: corresponde a las zonas más planas del municipio, donde está asentado el casco urbano y por donde transcurre el curso del río Bogotá. Presenta materiales aptos para la extracción de agregados utilizados en construcción, material parental de suelos con poca evolución genética. **Formación Tilatá:** se presenta adyacente a la loma denominada la Araña, vereda de Chigualá y en la

parte alta del páramo que se encuentra en la vereda de Soatama, predominan las areniscas, arenas de grano fino a grueso y gravas.

La formación regadera, pertenece al bloque Sabana de Bogotá, presenta arenisca cuarzosa, se puede correlacionar con las formaciones Picacho y Areniscas del Limbo. Es un área poco estable para construcciones civiles. Suelos de textura gruesa y bajos de fertilidad. La Formación Bogotá, está conformado por valles amplios, es un sector moderadamente escarpado con erosión ligera a alta [10]. Entre otros presentados en la siguiente tabla.

Tabla 4. Formaciones geológicas presentes y caracterización

FORMACIÓN GEOLÓGICA	ESTABILIDAD EN PENDIENTES	FACILIDAD DE EXCAVACIÓN	CAPACIDAD PORTANTE	POTENCIAL DE DESGASTE	PERMEABILIDAD
ALUVIÓN Y COLUVIÓN	BAJA	ALTA	BAJA	MEDIA	BAJA
TILATÁ	BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA	ALTA
REGADERA	BAJA	BAJA	MEDIA	BAJA	ALTA
BOGOTÁ	BAJA	ALTA	BAJA	MEDIA	BAJA
CACHO	MEDIA	ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA
GUADUAS	BAJA	ALTA	BAJA	MEDIA	BAJA
GUADALUPE SUPERIOR	BAJA	ALTA	ALTA	BAJA	MEDIA
GUADALUPE INFERIOR	ALTA	BAJA	ALTA	BAJA	MEDIA

Fuente: Universidad Nacional de Colombia [48]

Chocontá: En Chocontá se tienen las siguientes formaciones: Formación Marichuela, Falla Chocontá – Pericos, Formación Tilatá y Anticlinal de Chocontá. Algunas de estas se describen a continuación

Formación Marichuela: al noroccidente del municipio de Chocontá, en la carretera Chocontá-Cucunubá, aflora un depósito de gravas que yace sobre rocas de la Formación Guaduas y que corresponden a la formación Marichuela. Es un depósito de 40 m de bloques matriz soportado que envuelve clastos angulosos a redondeados de areniscas y rocas tipo “plaeners”; la matriz es de arena gruesa a conglomerática.

Falla Chocontá - Pericos: se extiende dentro de la Sabana, desde Villapinzón bordeando el flanco occidental del valle de Chocontá y el de Tominé, hasta el sur de la Calera. El tramo norte se observa desde Villapinzón hasta Sopó, es rectilíneo, cabalgan la Formaciones Lidita superior, Plaeners y Labor Tierna sobre la Formación Guaduas y genera inversión de estratos y en algunos sectores como en la región de Sisga-Chocontá presenta bloques rotados [49].

Anticlinal de Chocontá: estructura anticlinal localizada entre la localidad de Chocontá y el sitio Albarracín al nororiente de la Sabana de Bogotá en la región de Chocontá presenta cabeceo y termina en la Falla de Villapinzón [49].

Suesca: el municipio se encuentra en la base del prominente escarpe que genera el grupo Guadalupe donde se albergan areniscas de grano fino con escasas intercalaciones de limonitas, limonitas silíceas con intercalaciones de capas delgadas de areniscas de grano fino y areniscas cuarzosas, dura a friable de grano medio a grueso que aflora en las veredas de Ovejeras, Hato Grande, Chitiva Alto, cerros de El Bosque y cerro de La Comunidad, generando fuertes escarpes de difícil acceso [15].

El área está localizada en la zona central de la Cordillera Oriental, con fallas de cabalgamiento de vergencias que se alternan al occidente y al oriente. Algunas fallas presentan segmentos con movimiento transcurrente, como es el caso de la Falla de Suesca, presenta variaciones en su dirección, coloca en contacto rocas de la parte media y superior de la formación labor tierna con la parte media de la formación Guaduas [15].

Presenta varias formaciones geológicas dentro de las que se encuentran Plaeners, Tierna, Labor y Dura, los cuales son sedimentos marinos; también está constituido por formaciones como, Aluvión, Coluvión, Areniscas y Chipaque, además Suesca presenta una falla que recorre parte del municipio [15].

❖ Edafología

Villapinzón: los suelos en la vereda Bosavita donde nace el río Bogotá son altamente orgánicos, húmedos muy frágiles, en la parte baja se observa suelos de menor pendiente con condiciones aptas para producción agropecuaria [10].

Los suelos de ladera y de colinas de Villapinzón tienen buen contenido de materia orgánica, son de tendencia ácida y con presencia de cenizas volcánicas. Se encuentran en proceso de degradación por la intervención agropecuaria extensiva [50].

Chocontá: los suelos cercanos al río Bogotá comprende dos asociaciones que se describen a partir del Estudio General de Suelos del Oriente de Cundinamarca y Municipio de Umbita (Boyacá), elaborado por la Subdirección Agrológica del IGAC 1985, basados en la descripción de los grandes paisajes o formas generales, según la longitud y grado de pendiente, erosión y uso de la tierra, de acuerdo con el Sistema Taxonómico Americano. La agrupación de los suelos, se hizo con base en el material parental, el clima, la erosión, el drenaje y las demás características morfológicas, físicas y químicas a nivel de Asociación y/o Consociación [51].

El primero es la asociación NESCUATA (NT) los suelos que conforman esta Asociación están localizados en los depósitos de pie de vertiente cerca al valle del río Bogotá, en alturas superiores a los 2.700 m.s.n.m.; pertenece a la zona de vida bosque seco montano bajo, en el clima frío. Aparece en las veredas de Chingacío, Aposentos, Retiro de Blancos, Retiros de Indios, Veracruz, Saucío, Cruces, Agua

Caliente, Tejar, Tilatá y Chinatá. [51]. La segunda Asociación es SIECHA (SC) allí se presenta esta unidad en posición de vega del río Bogotá, localizada al Occidente de Chocontá, corresponde a la zona de vida bosque seco montano Bajo, de clima frío. Aparece en las veredas Chinatá, Cruces, Pueblo Viejo, Tejar, Agua Caliente, Aposentos, Retiro de Blanco, Chingacío y Tilatá. El uso actual del suelo está representado por la agricultura y ganadería, pastos y plantaciones forestales. [51].

Suesca: existen diferentes tipos de suelos, que son definidos a partir de las características que predominan en el territorio de Cundinamarca, teniendo en cuenta principalmente, los altiplanos de Bogotá, Ubaté y por el Páramo de Sumapaz, los altiplanos se encuentran en piso térmico frío, hay suelos profundos y fértiles, donde son aprovechados para la ganadería y agricultura. De igual manera predominan las planicies fluvio lacustres en donde se encuentran colinas y laderas de montañas con pendientes inclinadas y onduladas, con zonas de relieves muy quebrados y escarpados. Los suelos del municipio de Suesca presentan en su mayoría cobertura de pastos, es decir, la vegetación boscosa, especialmente la natural, no es abundante, existiendo algunos bosques plantados [15].

❖ Geohidrología

Villapinzón. El municipio cuenta principalmente con dos cuencas y varias microcuencas que se forman básicamente en dos sistemas de páramos, uno el del páramo Guacheneque, en las veredas de Chasquez, Bosavita, Quincha y el páramo Pachancute en la vereda de Tibita. La quebrada de la Joya, el Alisal y Cruz Colorada afluentes que drenan al río Albarracín. Actualmente las fuentes más representativas debido al uso social del agua son: río Bogotá, río Tibita, quebradas de Quincha, Sonsa, La Tócola; San Pedro, Casablanca, Piedra Gorda, Nemoconcito, El Alisal, Guanguita [10].

Figura 13. Páramo de Guacheneque



Fuente: Fundación Humedales de Bogotá.

Chocontá. Debido a las características topográficas del municipio se presentan dos sistemas de cuencas hidrográficas importantes, la primera está constituida por la cuenca alta del río Bogotá a donde vierten sus aguas los ríos Sisga, Tejar y una

gran cantidad de quebradas y afluentes secundarios (Saucío, Guianguita, Aposentos, Piedra Negra, Turmal, entre otros); esta fuente hídrica presenta una alta contaminación según el plan de desarrollo municipal de Chocontá. El segundo sistema lo conforma la subcuenca hidrográfica del río Machetá, que corresponde a la vertiente Oriental a las cuales tributan las aguas de las quebradas Tóloca, Cuchillas, Suralá y Boquerón. Otros cuerpos de agua superficial importantes son: El embalse del Sisga, usado principalmente para producción hidroeléctrica en la región [39].

Figura 14. Embalse del Sisga



Fuente: Organización Colparques

Laguna Negra: localizada al noroccidente del municipio como resultado de los procesos geomorfológicos ocurridos en una de las etapas de las glaciaciones en el área, que generó un valle glacial a una altura de 3000 m.s.n.m. y se constituye en una fuente de nacederos. Constituye un ecosistema a proteger [39].

Nacederos: hay aproximadamente unos 2000 nacederos, de los cuales la mayoría, tiene su origen en la cuchilla de choque, una estrella fluvial de importancia ecológica [39]. Humedales: hay aproximadamente 40 humedales, dentro de los más importantes, los de las veredas de Pueblo viejo y Chingacio, y el sector de Piedra de Sal [39].

Suesca: presenta cuatro cuencas hídricas como la del río Bogotá, río Suárez, Laguna de Suesca y río Checua. El municipio pertenece a la Cuenca Alta del Río Bogotá, a pesar de contar con suelos de páramo no existen grandes abastecimientos hídricos, por lo que el agua subterránea en extracción de pozos se convierte en la principal fuente de obtención del recurso hídrico para la región y como abastecimiento de agua superficial se cuenta con el recurso del Río Bogotá, quien se ha convertido en la oferta hídrica para los habitantes de gran parte de la zona rural y urbana [15].

La Laguna de Suesca. Se encuentra ubicada en la parte alta de la cordillera oriental; a una altura de 2800 msnm. Es el elemento principal del sistema hidrográfico de la cuenca de la laguna de Suesca, tiene una extensión de 2966 ha [15].

Figura 15. Laguna de Suesca



Fuente: Laguna de Suesca y Herrera, CAR

Agua Subterránea: en el municipio existen 20 pozos, 42 aljibes y 20 manantiales, los pozos profundos se han realizado a raíz de los cultivos de flores principalmente para riego ya que este recurso no es apto para el consumo humano por que posee gran cantidad de hierro [15].

Tabla 5. Conformación de las cuencas hidrográficas del municipio de Suesca.

CUENCA	LUGAR DE NACIMIENTO	NACIMIENTO CON DISPONIBILIDAD DE AGUA	DRENAJE CON AGUA PERMANENTE	DRENAJE CON FLUJO DE AGUA EN INVIERNO
Río Bogotá	El retamo La rinconada Pantantitos La nutria Santuario	Tocama Borraco La Chocancia Barranco colorado Las Manitas San Carlos Las Bebederas La Golondrina La Susana	La Choconcia El Cerrito se une a quebrada picota a la quebrada Congota. El salitre La Susana Culatama El Salival La toma de los árboles La Esperalda Arrayanes	Quilcuaca
Hoya del Río Suarez	El Gavilán Agua caliente El ojo del agua Crujones Amargosal Los Cerezos	Las Quebradas Agua Blanca Las Patas Agua Clara	El Timico Blanca El Desague Ovejeros Los Cerezos Zhaquirá Lagunita El Jucual La toma	
Laguna de Suesca		La Monia El Hatillo	Santa Helena	Cerrito
Río Checua			Barrancas La Zorrera Hoyo hondo Pozo de la Nutria Santa Isabel	

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial 2012

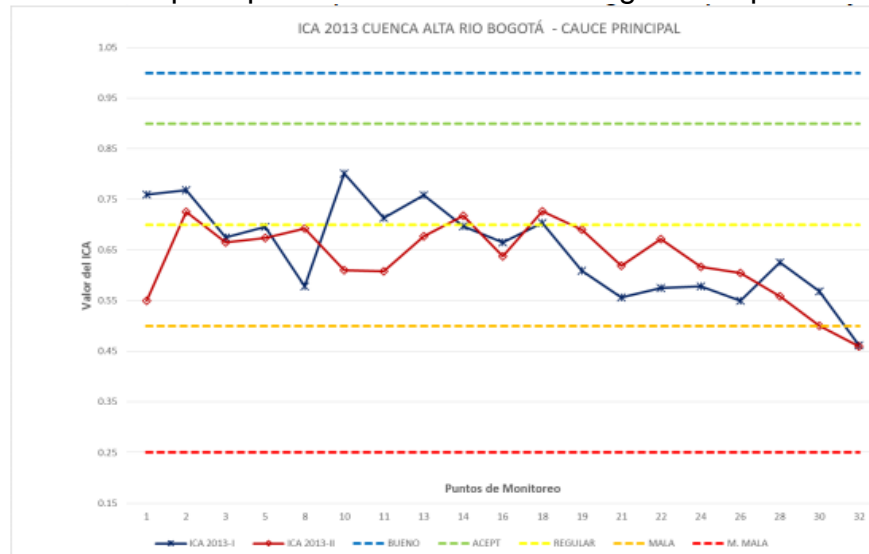
➤ Caracterización química

La CAR halló el índice de calidad del agua en la corriente principal de la cuenca alta del río Bogotá para el año 2013, donde se tuvieron en cuenta las siguientes variables: Oxígeno disuelto, sólidos en suspensión, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica, relación N total/ P total, pH y coliformes fecales [52].

Según los valores del indicador de calidad de agua para el cauce principal de la cuenca alta del río Bogotá en la campaña 2013-I, se puede observar que de los 19 puntos monitoreados sobre la corriente principal en la cuenca alta, 14 se encuentran en categoría regular y 5 en aceptable. Para la campaña 2013-II, se puede observar

que de los 19 puntos monitoreados sobre la corriente principal en la cuenca alta, 16 se encuentran en categoría regular y 3 en aceptable.

Gráfica 2. Cauce principal Cuenca Alta del río Bogotá campañas 2013 I y II



Fuente: CAR Y SDAS 2014 [52].

En la tabla 7 se puede observar los puntos de muestreo que son de interés para el proyecto con su respectiva calificación para cada campaña de muestreo.

Tabla 6. Puntos de muestreo

TIPO	NOMBRE	CALIFICACIÓN DEL ICA 2013-I	CALIFICACIÓN DEL ICA 2013-II
C. Principal	Aguas arriba Villapinzón 1	Aceptable	Regular
C. Principal	Puente Villapinzón 2	Aceptable	Aceptable
C. Principal	Aguas arriba Q. Quincha 3	Regular	Regular
C. Principal	Aguas abajo municipio Chocontá 10	Aceptable	Regular
C. Principal	Aguas abajo municipio Suesca 16	Regular	Regular

Fuente: CAR, Boletín del Índice de calidad del agua en corrientes superficiales "ICA" 2013 I- II [52]

Según la tabla 7 para la campaña de muestreo en el segundo semestre del año 2016, la calidad en los puntos de muestreo de aguas arriba de Villapinzón y aguas abajo de Chocontá disminuye, es decir pasan de ser aceptable a regular, mientras que los demás puntos mantienen su calidad.

- **Caracterización de la población**

Villapinzón: el territorio municipal se divide en sector urbano o cabecera municipal y suelo rural el cual comprende 17 veredas las cuales son: Bosavita, Casablanca, Chasquez, Chigualá, Chinquira, Guanguita, La Joya, La Merced, Nemoconcito,

Quincha, Reatova, El Salitre, San Pablo, San Pedro, Soatama, Sonsa [10]. El área rural representa el 99% de la superficie y el área urbana el 1%.

En la tabla 8 es posible observar que las 17 veredas que conforman el municipio de Villapinzón usan el agua del río Bogotá para distintas actividades, por tanto se realiza la caracterización poblacional de todo el municipio.

Tabla 7. Uso del agua del río Bogotá en el municipio de Villapinzón

Municipio de Villapinzón					
Veredas	Uso				
	Uso doméstico	Actividad mixta (agrícola y pecuaria)	Abrevaderos	Curtido y teñido de pieles.	Industrial
Bosovita	X	x	x		
Casa Blanca				X	X
Centro la Merced	X	x	x		
Chasques	X	x	x		X
Chiguala	X	x	x		
Chinquira	X	x	x		
Guanguita bajo	X				
La Joya	X	x	X		
La Merced	X	x	X		
Nemoconcito	X	x	X		
Quincha		x			X
Reatova		x			
Salitre					
San Pablo Gualos		x			
San Pedro		x			X
Soatama		x			
Sonsa		x			

Fuente: CAR corporación autónoma regional Cundinamarca
Elaboración propia

La tabla 9 muestra la población proyectada para los años 2013 y 2014 del municipio de Villapinzón discriminada por género, donde se obtiene para el primer año un total de 19.082 hombres y mujeres y para el segundo año una población de 19.411 para los dos géneros, con crecimiento de 1.2% equivalente a 329.

Tabla 8. Población proyectada 2013-2014 Villapinzón

Año	2013	2014
Total	19,082	19,411
Hombres	9,809	9,988
Mujeres	9,273	9,423

Fuente: DANE proyección de poblaciones

En la Tabla 10 de población de casco urbano y zona rural del municipio de Villapinzón, se observan el total de población y su respectivo porcentaje, donde la cabecera municipal posee el 33% correspondiente a 6.405 de la población y el resto del municipio posee el 67% equivalente a 13.006, obteniendo un total de 19.411 para el año 2014.

Tabla 9. Población cabecera municipal y resto de población de Villapinzón

Cabecera Municipal	Resto de población	Total
6.405	13.006	19.411
33%	67%	100%

Fuente: DANE proyecciones de población 2014

En cuanto a la población por grupos etarios la tabla 11 que se muestra a continuación, posee los datos discriminada en 4 grupos, de 0 a 5 años, 6 a 14 años, 15 a 59 años y mayor a 60 años; a su vez los datos se dividen por género, obteniendo el total de población para los años 2013 y 2014 por grupo.

Tabla 10. Población por grupo de edades del municipio de Villapinzón

Edad (años)	Género	Años	
		2013	2014
0 a 5	mujeres	1.250	1.262
	hombres	1.319	1.333
Total		2.569	2.595
6 a 14	mujeres	1.751	1.769
	hombres	1.936	1.954
Total		3.687	3.723
15 a 59	mujeres	5.355	5.449
	hombres	5.752	5.879
Total		11.107	11.328
mayor a 60	mujeres	917	943
	hombres	802	822
Total		1.719	1.765

Fuente: DANE

Según la tabla 12 el municipio de Villapinzón los servicios con mayor cubrimiento son acueducto y energía con un aproximado al 98%. El de menor cobertura es alcantarillado con 89% indicando que existen viviendas que no se encuentran conectadas a las redes. Sin embargo, los datos muestran que se tienen una alta cobertura de servicios públicos en el municipio.

Tabla 11. Cobertura de servicios públicos Villapinzón

COBERTURA SERVICIOS PÚBLICOS VILLAPINZÓN CENSO 2005	
Acueducto área urbana	98,4%
Acueducto área rural	76,6%
Alcantarillado área urbana	89,4%

Alcantarillado área rural	10,3%
Energía área urbana	97,9%
Energía área rural	97,%

Fuente: esquema de ordenamiento territorial de Villapinzón.

El agua para el municipio es tomada de la quebrada La Quincha. La red de conducción, obras civiles y planta de tratamiento fueron construidas en el año 1984. La planta de tratamiento es apta para realizar continua y simultáneamente los procesos de mezcla de productos químicos, coagulación, floculación, sedimentación, y filtración integrados en un pequeño tanque de acero con divisiones internas. Esta planta trata aguas superficiales en la remoción de turbidez, color, materia orgánica asociada o suspendida [10].

El agua tomada de la quebrada La Quincha tiene un tratamiento de desinfección con cloro. Igualmente se le adiciona sulfato de aluminio para la coagulación y cal para la corrección de pH. El tratamiento de agua sólo se hace durante 8 horas al día. Las redes en el municipio están extendidas en tuberías de asbesto cemento y PVC [10].

En cuanto al alcantarillado es un sistema combinado que recoge aguas lluvias y domésticas. El cubrimiento de este servicio a nivel urbano es de 89.4%. Las aguas residuales se vierten directamente al río. Este servicio es una de las debilidades en servicios básicos que tiene el municipio y de prioridad. Para el año 2017 se inauguró en el municipio la planta de tratamiento de agua residual [10].

El servicio de aseo es prestado por parte del municipio, pero está a cargo de servicios generales, en el casco urbano hay una frecuencia de dos días por semana, se presta este servicio a las veredas de San Pedro y Casa Blanca una vez por semana y la otra parte baja de Sonsa sector hacia Peña Sanabria. Los residuos son depositados en un relleno sanitario que está localizado en la vereda de Casa Blanca. El ruteo es efectivo cubriendo todos los sectores del casco urbano y algunos rurales [10].

En cuanto a educación se cuenta con 26 instituciones educativas en todo el municipio según el directorio de instituciones educativas de Cundinamarca. Dividiéndose en oficiales y no oficiales, que a su vez se encuentran en grupos por nivel de escolaridad del servicio prestado [10].

Tabla 12. Instituciones educativas en Villapinzón

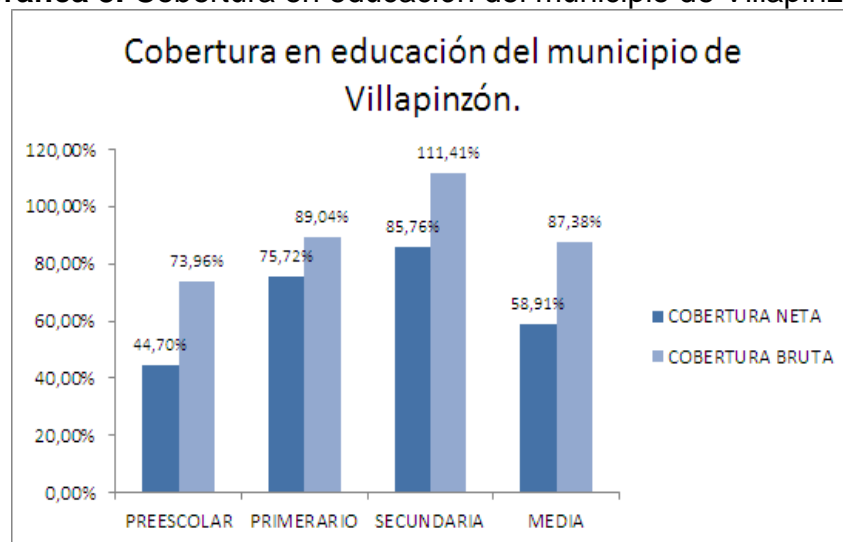
Escolaridad	Sector	
	Oficial	No oficial
Nivel	Establecimientos	Establecimientos
Preescolar y Primaria	18	1

Secundaria	5	2
Total	23	3

Fuente: Directorio de Instituciones Educativas de Cundinamarca

Para el municipio de Villapinzón se cuentan con la cobertura en educación bruta por nivel educativo, siendo secundaria el nivel con cobertura total con un 111,4% es decir que el municipio cuenta con la capacidad para atender a toda la población en edad escolar para cursar dicho nivel educativo, en cuanto a preescolar este es el nivel con la menor capacidad para atender a la población en edad para cursar dicho grado de escolaridad. Para la cobertura neta, secundaria es el nivel de escolaridad con el mayor porcentaje, indicado que el 85,75% del número de estudiantes matriculados que tienen la edad teórica para cursar dicho nivel se están formando, mientras que preescolar tiene el menor número de estudiantes matriculados con la edad teórica para cursar este nivel [10].

Gráfica 3. Cobertura en educación del municipio de Villapinzón.



Fuente: Departamento de planeación

Tabla 13. Tipo de suelo de Villapinzón

Tipo de usos de suelo en el municipio de Villapinzón		
Dedicación	Superficie HA	Porcentaje %
Páramo	1753	7.06
Bosque natural	496	1.99
Área agrícola	9279	37.26
Área en pastos	8596	34.52

Rastrojos	4737	19.02
Suelos escarpados	39	0.15
Área Total	24900	100

Fuente: Diagnóstico Agropecuario Municipal

Se estima que el área en bosque natural de Villapinzón es de aproximadamente 7025 ha, valor en los que se incluiría páramo, rastrojos, suelos escarpados y el bosque natural. Los datos muestran la falta de un sistema de información para determinar con exactitud las áreas y sus coberturas [10].

En especial en el municipio de Villapinzón y áreas aledañas, se dio la sustitución de los cultivos de cereal por cultivos de papa, cuyo efecto inmediato produjo la ampliación de la frontera agrícola hacia zonas más altas, que ofrecen condiciones climáticas favorables para su cultivo y disponibilidad de agua permanente. La problemática socio-ambiental actual está determinada por las actividades agropecuarias que allí se desarrollan, principalmente la siembra de papa y la pradización de espacios para la cría de ganado, lo que genera presiones por el uso del suelo, la cobertura boscosa y el recurso hídrico. Estos problemas están poniendo en riesgo los bienes y servicios ecosistémicos del páramo, donde el más importante es el suministro de agua para una parte de la población capitalina y poblaciones aledañas [53].

Chocontá:

El Municipio se encuentra conformado por 22 veredas: Guanguita, Hatofiero, Capellanía, Pueblo viejo, Agua Caliente, Mochila, Tablón, Aposentos, Turmal, Retiro de Blancos, Retiro de Indios, Chingacio, Soatama, Tejar, Veracruz, Manacá, Cruces, Santa Bárbara, Chinata, Saucio, Boquerón y Tilatá [54].

El área rural cuenta con una extensión de 299.66 Km² que representa el 99.52 % dentro de la extensión total del municipio y el área urbana cuenta con una extensión de 1.44 Km² que representa el 0.48 % dentro de la extensión total del municipio [54]. Según documentación de la CAR en todo el municipio se hace uso del agua del río Bogotá para diferentes usos como se puede observar a continuación

Tabla 14. Usos del agua del río Bogotá por vereda en el municipio de Chocontá

Municipio de Chocontá					
Veredas	Usos				
	Uso doméstico	Riego Silvicultura	Abrevadero	Acuicultura y pesca	Uso Industrial
Guanguita	x	x			
Hatofiero		x	x		
Capellanía		x	x		
Pueblo viejo	x		x		

Agua caliente		x	x		
Mochila	x	x	x		
Tablón	x				
Aposentos	x	x	x		
Turmal		x	x	x	
Retiro de lancos	x				x
Retiro de indios		x	x		x
Chingacio	x	x	x		x
Soatama	x		x		
Tejar	x	x	x		
Veracruz	x	x	x		
Manaca	x				
Cruces	x	x	x		
Santa bárbara		x	x		
Chinata		x	x		
Saucio			x		
Tilata		x	x		
Boquerón	x				
Centro	x	x	x		

Fuente: corporación autónoma regional Cundinamarca CAR
Elaboración propia

Como se mencionaba anteriormente todo el municipio de Chocontá hace uso del agua del río Bogotá para diferentes actividades por tal motivo se procede a realizar la caracterización poblacional de todo el municipio en general.

La tabla 16 muestra la población proyectada para los años 2.013 y 2.014 del municipio de Chocontá discriminada por género, donde se obtiene para el año 2.013 un total de 23.999 hombres y mujeres y para el año 2.014 un total 24.620 hombres y mujeres, con un crecimiento poblacional de 2,58% equivalente a 621 personas.

Tabla 15. Población proyectada 2.013 y 2.014 Chocontá

Año	<u>2.013</u>	<u>2.014</u>
Total	23.999	24.620
Hombres	12.189	12.499
Mujeres	11.810	12.121

Fuente: DANE proyección de poblaciones

En la Tabla 17 de población de casco urbano y zona rural del municipio de Chocontá, se observa el total de población y su respectivo porcentaje, donde la cabecera municipal posee el 50,74 % correspondiente a 12.494 personas y el resto del municipio posee el 49,25 % equivalente a 12.126 personas, obteniendo un total de población de 24.620 para el año 2.014.

Tabla 16. Población cabecera municipal y resto de población de Chocontá

Cabecera Municipal	Resto de población	Total
12.494	12.126	24.620
50,74%	49,25%	100%

Fuente: DANE proyecciones de población

En cuanto a la población por grupos etarios la tabla 18 muestra los datos discriminada en 4 grupos, de 0 a 5 años, 6 a 14 años, 15 a 59 años y mayor a 60 años; a su vez los datos se dividen por género, obteniendo el total de población para los años 2.013 y 2.014 por grupo.

Tabla 17. Población por grupo de edades del municipio de Chocontá

Edad (años)	Género	Años	
		2.013	2.014
0 a 5	Mujeres	1.313	1.347
	Hombres	1.371	1.407
Total		2.684	2.754
6 a 14	Mujeres	1.903	1.939
	Hombres	1.953	1.990
Total		3.856	3.929
15 a 59	Mujeres	7.570	7.782
	Hombres	7.983	8.201
Total		15.553	15.983
mayor a 60	Mujeres	1.921	1.984
	Hombres	1.723	1.771
Total		3.644	3.755

Fuente: DANE

La tabla 19 muestra el porcentaje de cobertura de servicios públicos en Chocontá para el año 2.014, donde se observa que el área urbana tiene una mayor cobertura de servicios públicos que el área rural.

Tabla 18. Cobertura de servicios públicos en Chocontá del año 2.014

COBERTURA SERVICIOS PÚBLICOS CHOCONTÁ AÑO 2.014	
Acueducto área urbana	99,7%
Acueducto área rural	63,41%
Alcantarillado área urbana	99,26%
Alcantarillado área rural	0,45%
Recolección residuos sólidos área urbana	99,81%
Recolección residuos sólidos área rural	1,18%
Energía área urbana	99,7%
Energía área rural	95,9%

Fuente: Alcaldía de Chocontá [39]

El servicio de acueducto en el municipio se realiza por un sistema que está conformado por una bocatoma, una línea de conducción, un tanque de almacenamiento y una línea de distribución, siendo las fuentes abastecedoras las Quebradas El Choque, Carnicerías y Cuchilla blanca. Estas estructuras se encuentran en regular estado, ocasionando serias pérdidas. En el área rural el suministro de agua constituye un problema que adquiere dimensiones críticas en épocas de verano y genera conflictos por uso del agua. El sistema de tratamiento consiste en una planta convencional compacta con desarenador, etapa de filtración y tratamiento químico, los tanques de almacenamiento se consideran suficientes para la demanda actual y proyectada a mediano plazo [39].

En el área rural se ha mejorado la cobertura en los últimos años, sin embargo, todavía es baja, teniendo en cuenta que en algunas veredas el servicio es deficiente. Según análisis de la calidad de las aguas se presentan altos índices de contaminación por uso de agroquímicos y vertimientos de aguas residuales [39]. En cuanto al sistema de alcantarillado el sistema de recolección es de tipo mixto, las redes de recolección son insuficientes y la evacuación se hace en una planta de tratamiento construida mediante el convenio CAR - BID dentro de la estrategia de descontaminación del río Bogotá [55].

Según la CAR este municipio por presentar un alto crecimiento urbano, mantiene un déficit en la cobertura de este servicio y especialmente en el tratamiento de las aguas domésticas, pues los nuevos desarrollos se localizan fuera del área de influencia de las Plantas de Tratamiento y vierten las aguas directamente a los ríos Tejar y Bogotá. La cobertura aún no es suficiente pues casi un 10% de las viviendas urbanas no disponen del servicio y en las áreas rurales la disposición de excretas se realiza en un 13% en pozo séptico sin las especificaciones completas como trampas de grasas y jabones y presentan problemas de rebosamiento; en un 6% en letrina y un 79% manejan vertimientos en potreros o drenajes naturales directamente o sencillamente carecen de un servicio sanitario y la disposición de excretas se hace a campo abierto [55].

Por último el servicio de aseo y recolección de residuos sólidos se realiza con una frecuencia de recolección diaria en el área urbana, con forma de recolección compactador y disposición final en relleno sanitario. En las áreas rurales existe la ventaja de la separación y la reutilización de los residuos orgánicos domésticos [55].

Lo que representa un problema en el campo es el manejo de desechos no biodegradables como plásticos, vidrios y latas, pues simplemente son abandonados en los alrededores de las viviendas, generando mal aspecto y favoreciendo la presencia de insectos. El tema crítico en el área rural lo constituyen los empaques y envases de agroquímicos utilizados en los cultivos, pues tampoco existe una cultura de manejo de estos residuos y generalmente son abandonados cerca de las fuentes de agua de donde se abastecen para fumigar o dispersos por las fincas con el riesgo de contaminación y la exposición de los niños o adultos al contacto con estos tóxicos [55].

En la tabla 20 se observa el número de instituciones educativas en Chocontá por nivel de escolaridad y dividiéndolas en oficial y no oficial.

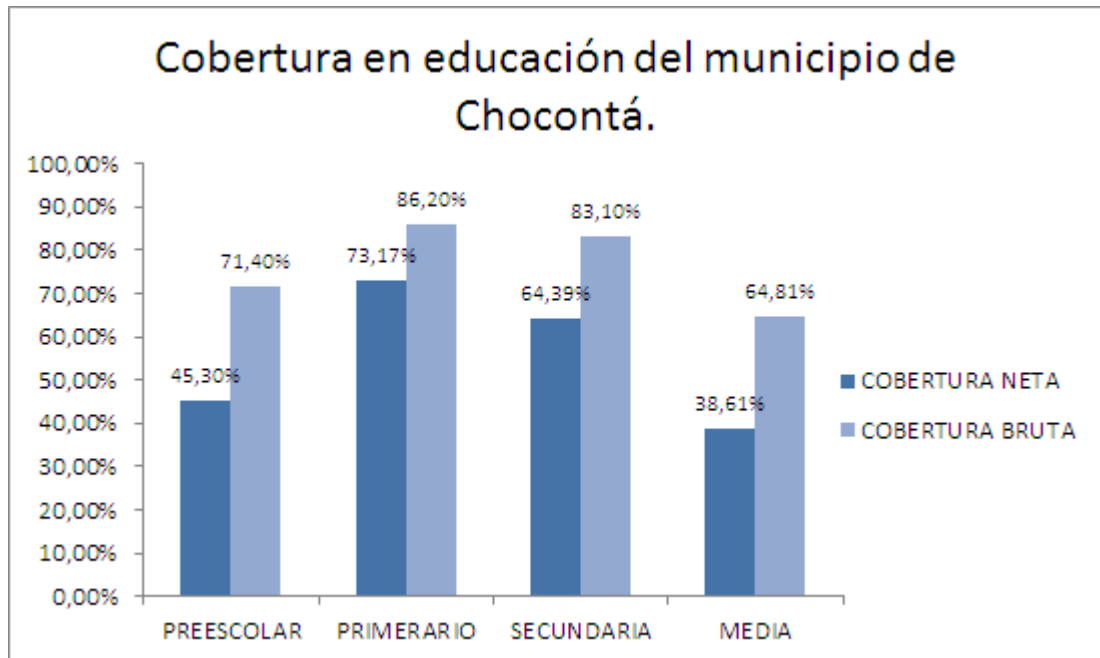
Tabla 19. Instituciones educativas en Chocontá

Escolaridad	Sector	
	Oficial	No oficial
Nivel	Establecimientos	Establecimientos
Preescolar	1	1
Primaria	29	1
Secundaria	5	5
Total	35	7

Fuente: Directorio de Instituciones Educativas de Cundinamarca

En la gráfica 4 se muestra la cobertura en educación bruta por nivel educativo, siendo primaria el nivel con cobertura total con un 86,20% es decir que el municipio cuenta con la capacidad para atender a toda la población en edad escolar para cursar dicho nivel educativo, en cuanto a secundaria media este es el nivel con la menor capacidad para atender a la población en edad para cursar dicho grado de escolaridad. Para la cobertura neta, primaria es el nivel de escolaridad con el mayor porcentaje, indicado que el 73,17% del número de estudiantes matriculados que tienen la edad teórica para cursar dicho nivel se están formando, mientras que secundaria media tiene el menor número de estudiantes matriculados con la edad teórica para cursar este nivel.

Gráfica 4. Cobertura en educación del municipio de Chocontá.



Fuente: Departamento de planeación

El uso actual del suelo en Chocontá lo constituyen la Agricultura y la Ganadería, Plantaciones Forestales, Pastos, Rastrojo alto y Vegetación de páramo, con algunas áreas erosionadas, minería, Bosque primario intervenido e industria de curtiembres. En el municipio por ser una zona de tierra fría predominan en orden de importancia los cultivos de papa, arveja, haba, maíz, fresa, cebada y trigo, restringida a pequeñas áreas que alternan con pastos y una ganadería tipo extensiva de ganado Holstein, Normando y Criollo; siendo estas las actividades económicas más destacadas del área rural de Chocontá [14].

Los cultivos agrícolas y zonas de pastos constituyen mosaicos que dan vistosidad al paisaje colinado, en donde se observa ausencia casi total de vegetación en algunos sectores del municipio. Además, otra de las actividades económicas del Municipio de Chocontá lo constituyen los cultivos de papa, maíz, arveja, hortalizas y fresa, que alternan con una ganadería tipo extensiva, que se concentra en pequeña áreas hacia la producción de leche principalmente. Las condiciones de uso del suelo en agricultura y ganadería y los pastos manejados en forma intensiva, generaron la degradación del suelo con procesos erosivos [14].

Suesca:

El municipio de Suesca tiene 13 veredas, y según documentación de la CAR todas ellas hacen uso del agua del río Bogotá para diferentes usos, como se muestra en la tabla 21.

Tabla 20. Uso del agua del río Bogotá en el municipio de Suesca

Municipio de Suesca					
Veredas	Usos				
	Uso doméstico	Actividad Mixta (agrícola y pecuaria)	Abrevaderos	Curtido y teñido de pieles.	industrial
Barrancas	X		X		
Cacicazgo		X		X	
Chitiva	X	X	X		
El Hatillo		X			X
Guita		X			X
Hato Grande	X	X	X		
Ovejeras	X	X	X		
Palmira	X	X	X		
San Vicente	X	X	X		
Santa Rosita	X	X	X		
Centro	X	X	X		
Tausaquirá	X	X	X		
Tenería	X		X		

Fuente: CAR corporación autónoma regional Cundinamarca
Elaboración propia

La tabla 22 muestra la población proyectada para los años 2.013 y 2.014 del municipio de Suesca discriminada por género, donde se obtiene para el año 2.013 un total de 16.658 personas y para el año 2.014 un total 16.987 hombres y mujeres, con un crecimiento poblacional de 1,97 % equivalente a 329 personas.

Tabla 21. Población proyectada 2.014 Suesca

Año	2013	2014
Total	16.658	16.987
Hombres	8.196	8.352
Mujeres	8.462	8.635

Fuente: DANE proyección de poblaciones

En la Tabla 23 de población de casco urbano y zona rural del municipio de Suesca, se observa el total de población y su respectivo porcentaje, donde la cabecera municipal posee el 49,31% de la población correspondiente a 8.373 personas y el resto del municipio posee el 50,75% equivalente a 8.614 personas, obteniendo un total de 16.987 personas para el año 2.014.

Tabla 22. Población cabecera municipal y resto de población de Suesca

Cabecera Municipal	Resto de población	Total
8.373	8.614	16.987
49,31%	50,75%	100%

Fuente: DANE proyecciones de población

En cuanto a la población por grupos etarios la tabla 24 muestra los datos discriminada en 4 grupos, de 0 a 5 años, 6 a 14 años, 15 a 59 años y mayor a 60 años; a su vez los datos se dividen por género, obteniendo el total de población para los años 2.013 y 2.014 por grupo.

Tabla 23. Población por grupo de edades del municipio de Suesca

Edad (años)	Género	Años	
		2013	2014
0 a 5	Mujeres	1.151	1.172
	hombres	1.183	1.204
Total		2,334	2,376
6 a 14	Mujeres	1.742	1.762
	hombres	1.704	1.719
Total		3.446	3.481
15 a 59	Mujeres	4.887	5.002
	Hombres	4.741	4.852
Total		9.618	9.854
mayor a 60	mujeres	568	577
	hombres	692	699
Total		1.260	1.276

Fuente: DANE

En la tabla 25 se especifica la cobertura de servicios públicos en el sector rural y el casco urbano del municipio donde se puede evidenciar que el área urbana tiene una mayor cobertura de servicios públicos que el área rural.

Tabla 24. Cobertura de servicios públicos en Suesca

COBERTURA SERVICIOS PÚBLICOS SUESCA	
Acueducto área urbana	99,64%
Acueducto área rural	84,74%
Alcantarillado área urbana	95,18%
Alcantarillado área rural	4,68%
Energía área urbana	99,49%
Energía área rural	95,63%
Recolección residuos sólidos área urbana	99,49%
Recolección residuos sólidos área rural	8,51%

Fuente: Gobernación de Cundinamarca [56]

Los sistemas más importantes de captación de agua destinada a consumo humano son las bocatomas para el abastecimiento de los diferentes acueductos veredales; provenientes del río Bogotá. El suministro de agua para los invernaderos de flores y grandes haciendas ganaderas se realiza por medio de sistemas de riego por micro aspersión y goteo, donde la captación se hace desde el río Bogotá y en algunas ocasiones desde pozos profundos [10].

De acuerdo con la Corporación Autónoma Regional CAR, actualmente en el municipio hay un bajo nivel de la oferta hídrica con un promedio entre 1.000 a 15.000 m³ por habitante al año y una demanda sectorial en aumento para el consumo doméstico, industrial y agropecuario. La pérdida de suelos por prácticas inadecuadas de cultivo y pastoreo como el volteo del suelo, cultivos intensivos, el uso indiscriminado de plaguicidas y fertilizantes químicos, así como la deforestación permanente de las márgenes hídricas agudizan los procesos erosivos a gran escala en la zona rural del municipio [10].

En cuanto al acueducto en la zona urbana existe una amplia cobertura de la prestación del este servicio con un 99%, mientras que en algunas de las veredas del municipio la prestación del servicio es bastante deficiente, como se pudo evidenciar en la tabla 20. En las zonas donde hay cobertura, el servicio se presta de forma permanente [15]. El municipio de Suesca posee diferentes cuencas como la cuenca del río Bogotá y la cuenca Hoya del río Suárez, de las cuales se obtienen varios nacederos y quebradas para el suministro del recurso hídrico a diferentes redes de acueducto por medio de un sistema de bombeo determinado [15].

El alcantarillado en la zona rural no existe por ello se utilizan pozos sépticos, y letrinas, a excepción de dos veredas como lo son Cacicazgo y Cuayáen ya que estas cuentan con conexión a la PTAR del municipio [15].

El manejo de los residuos sólidos en la parte veredal se manejan de tres maneras críticas, es decir no tienen una buena disposición final de los residuos debido a que son los habitantes quienes deben disponer de ellos, los procedimientos que realizan son: enterrar cerca de la zona que habitan, quemar o verter a fuentes hídricas, 2

veredas de 19 son las únicas a las que se les presta el servicio de aseo una vez por semana [15].

Dentro del casco urbano el servicio de recolección de basuras es realizado, en un vehículo compactador por tres días a la semana, el destino final es el Relleno Sanitario Mondoñedo. No existen procesos de reciclaje o tratamiento alguno en la fuente [15].

Suesca cuenta con 23 instituciones educativas del sector público el 87% y el 13% son privadas. El 23% se encuentran en el casco urbano y el 77% restante en la zona rural, los alumnos están distribuidos de la siguiente forma 56,5% en el casco urbano y el 43,5% en la zona rural. El número de docentes prestando servicio en la zona urbana el 56% y en la zona rural 44%.

En la tabla 26 se evidencia el número de instituciones divididas por el grado de escolaridad y por el sector (oficial y no oficial).

Tabla 25. Instituciones educativas del municipio de Suesca

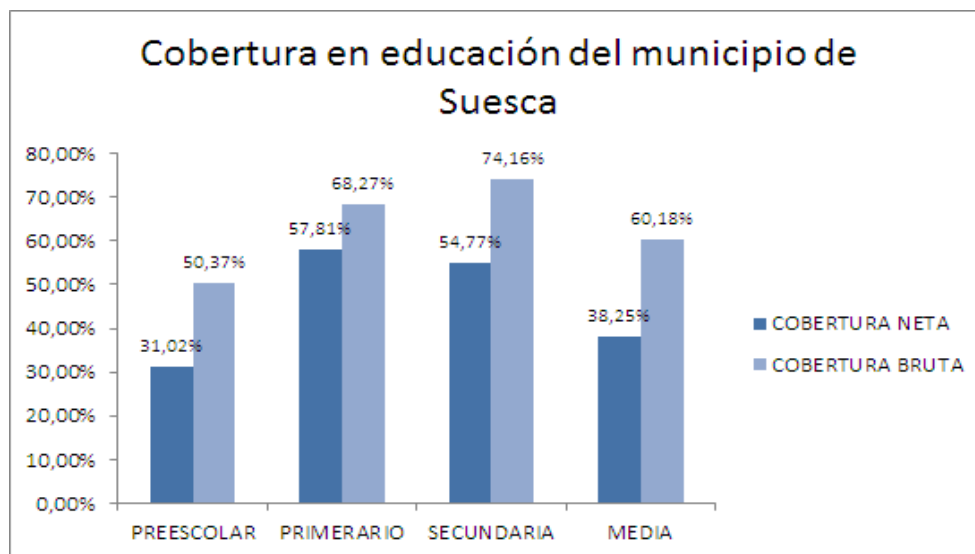
Escolaridad	Sector	
	Oficial	No oficial
Nivel	Establecimientos	Establecimientos
Transición	0	1
Primaria	16	0
Secundaria	2	0
Primaria y secundaria	1	2
Total	19	3

Fuente: Directorio de Instituciones Educativas de Cundinamarca

Para el municipio de Suesca se cuentan con la cobertura en educación bruta por nivel educativo, siendo secundaria el nivel con cobertura total con un 74,16% es decir que el municipio cuenta con la capacidad para atender a toda la población en edad escolar para cursar dicho nivel educativo, en cuanto a preescolar este es el nivel con la menor capacidad para atender a la población en edad para cursar dicho grado de escolaridad.

Para la cobertura neta, primaria es el nivel de escolaridad con el mayor porcentaje, indicado que el 57,81% del número de estudiantes matriculados que tienen la edad teórica para cursar dicho nivel se están formando, mientras que secundaria media tiene el menor número de estudiantes matriculados con la edad teórica para cursar este nivel.

Gráfica 5. Cobertura en educación del municipio de Suesca



Fuente: Departamento de planeación

En cuanto al suelo en el municipio, los principales usos económicamente están determinados por el sector agrícolas 12,5%, pecuario 38.3%, bosques 30-5, minería 5%, zona en descanso 12%, zona urbana 2.2%. El uso actual del suelo en el área urbana está determinado por: uso residencial, comercial, industrial, institucional y múltiple

5.3 CUANTIFICACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

En la tercera etapa de la evaluación de riesgo ambiental se halló la Dosis Suministrada (Ds) esta es utilizada para sustancias no cancerígenas, ya que para efectos del presente trabajo se realiza el estudio usando como única vía de exposición la oral y según La Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades IARC el cromo es cancerígeno por vía inhalatoria. Partiendo de lo anterior se halla la Ds para determinar si la población es tolerable al nivel de riesgo asociado a la exposición al tóxico presente en el sitio de estudio.

La Ds se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$D_s = \frac{(Concentración) * (Tasa de contacto) * (Frecuencia) * (Duración)}{(Masa corporal) * (Tiempo de promediación)}$$

Ecuación 7 [19]

Para la concentración se tomó el promedio de las tres concentraciones de cada fecha y por cada punto de muestreo, estos datos se pueden observar en la tabla 2 y 3, la tasa de contacto o ingesta de líquidos es de 2 l/día para adultos y de un 1

l/día para niños [19], la duración de la exposición se tomó como 2 años para el grupo etario de 0-5 años, de 9,5 para el grupo etario de 6-14 años, de 37,5 para el grupo etario de 15-59 años y de 70 para el grupo etario de mayor a 60 años.

La masa corporal se tomó como el promedio para cada edad en cada grupo según gráficas de peso y edad de la organización mundial de la salud (OMS) [58], y el tiempo de promediación o periodo de vida se tomó como 70 años [19].

En la tabla 27 se puede observar las Ds por grupo de edades, género y punto de muestreo, esta dosis se expresa en mg del contaminante sobre kg por día.

Tabla 26. Dosis suministradas (mg/kg*día) por grupo etario y género.

ESTACIÓN	AGUAS ARRIBA VILLAPINZÓN		AGUAS ABAJO VILLAPINZÓN		CHOCONTÁ		SUESCA	
	GÉNERO mg/kg*día		GÉNERO mg/kg*día		GÉNERO mg/kg*día		GÉNERO mg/kg*día	
	F	M	F	M	F	M	F	M
0-5 Años	0,00078	0,00073	0,00135	0,00125	0,00085	0,00079	0,00085	0,00079
6-14 Años	0,00308	0,00313	0,00529	0,00538	0,00332	0,00338	0,00332	0,00337
15-59 Años	0,00736	0,00627	0,01265	0,01077	0,00795	0,00677	0,00794	0,00676
Mayor a 60 años	0,01374	0,01170	0,02361	0,02011	0,01484	0,01264	0,01482	0,01262

Elaboración propia

Según la tabla 27, se puede evidenciar que las dosis suministradas aumentan según las edades esto se debe a que la frecuencia y duración de la exposición es directamente proporcional a la edad, sin embargo en el punto de muestreo de aguas abajo de Villapinzón se evidencian las dosis suministradas de mayor valor en el género femenino esto se debe a que las mujeres tienen un menor peso corporal en comparación con los hombres, por lo tanto las Ds serán mayores en el género femenino.

5.4 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

En la última etapa de la evaluación se halló el nivel de riesgo en el que se encuentra la población por el consumo del agua para ello se utilizó la ecuación 8

$$Riesgo = \frac{Ds}{D_d R}$$

Ecuación 8 [19]

Donde la Ds es la dosis suministrada hallada en la etapa anterior, como se muestra en las tablas 27 y 28, y la DdR es la dosis de referencia para exposiciones orales que corresponde al valor de $3 \cdot 10^{-3}$ mg/ kg*día para cromo según agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) [59]

Tabla 27. Nivel de riesgo por grupo etario y género.

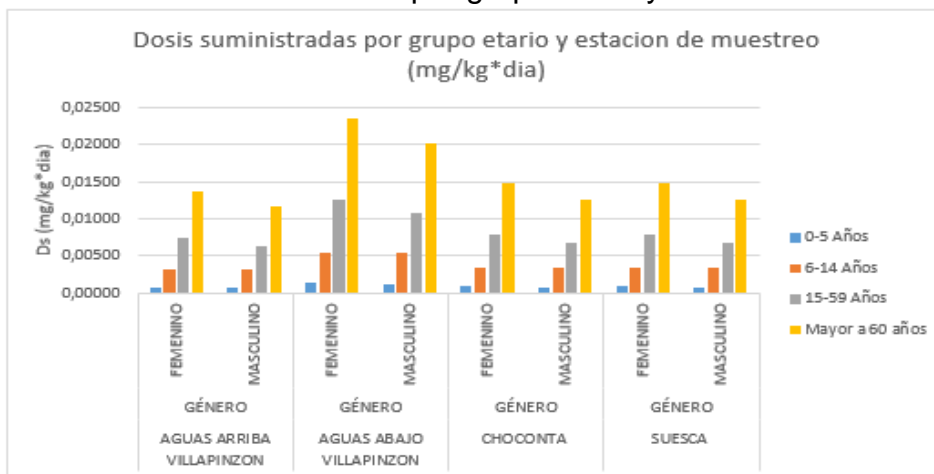
ESTACIÓN	AGUAS ARRIBA VILLAPINZÓN		AGUAS ABAJO VILLAPINZÓN		CHOCONTÁ		SUESCA	
GRUPO ETARIO	GÉNERO		GÉNERO		GÉNERO		GÉNERO	
	F	M	F	M	F	M	F	M
0-5 Años	0,26110	0,24339	0,44875	0,41832	0,28209	0,26296	0,28171	0,26260
6-14 Años	102,538	104,266	176,232	179,204	110,781	112,649	110,631	112,496
15-59 Años	245,322	208,954	421,637	359,132	265,044	225,753	264,684	225,446
Mayor a 60 años	457,934	390,048	787,056	670,380	494,748	421,405	494,077	420,833

Elaboración propia

Las tablas 28 muestran que el nivel de riesgo en menores de 5 años no sobrepasa el valor uno, esto se debe a que la dosis de referencia tomada es mayor a la dosis suministrada, como esta segunda dosis depende de factores como la tasa de contacto, el nivel de riesgo va a disminuir o aumentar dependiendo las diferentes etapas en la que se encuentre el ser humano.

Para los demás grupos etarios debido a que la dosis suministrada es mayor a la de referencia se observan datos por encima del valor uno, dicho valor permite clasificar como aceptable o no aceptable el riesgo. En los grupos de 15 a 59 y mayores a 60 se puede evidenciar que las mujeres poseen un nivel de riesgo mayor al de los hombres, debido a que la dosis suministrada depende de características físicas (masa corporal por género), por tanto el nivel de riesgo estará en función de todos los factores haciendo que puede aumentar o disminuir.

Gráfica 6. Dosis suministrada por grupo etario y estación de muestreo

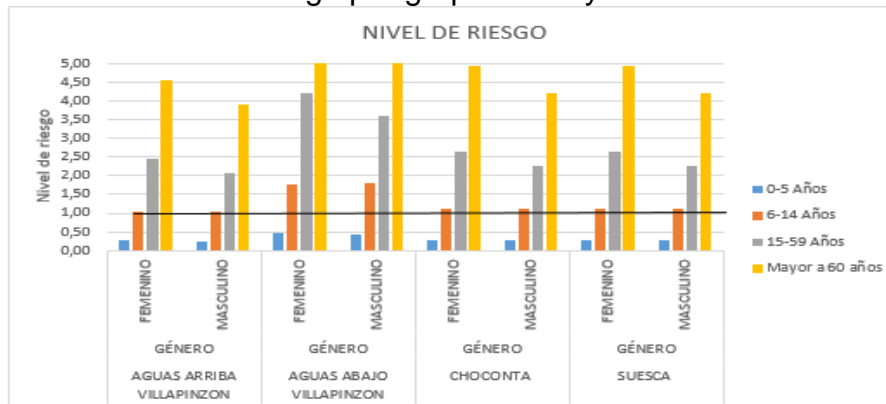


Elaboración propia

En la gráfica 7 se puede observar las dosis suministradas por grupo etario, género y punto de muestreo donde se evidencia que en el grupo etario de 0-5 años el género femenino se obtiene una mayor dosis suministrada esto sucede porque las niñas tienen un menor peso en estas edades que los niños, mientras que en el grupo de 6-14 años los hombres tienen una mayor dosis suministrada debido a que los hombres en estas edades tienen un menor masa corporal en comparación con las mujeres, y en los dos últimos grupos etarios, el género femenino obtiene una mayor dosis por lo mismo que sucede en el grupo de 0-5 años.

De igual manera cabe resaltar que las dosis halladas en el punto de muestreo de aguas arriba de Villapinzón es baja en comparación a los otros puntos de muestreo, en aguas abajo de Villapinzón se encuentran las dosis más altas esto se debe a que las concentraciones más altas obtenidas en los muestreos realizados se encontraron en este punto.

Gráfica 7. Nivel de riesgo por grupo etario y estación de muestreo.



Elaboración propia

La gráfica 8 muestra el nivel de riesgo por exposición a cromo total obtenido para cada grupo etario, en cada una de las estaciones de muestreo, a su vez discriminada por género femenino y masculino, se puede evidenciar una línea de color negro la cual se ubica en un nivel de riesgo 1, ya que este valor indica si el riesgo es aceptable o no. Para el grupo de 0-5 años se observa un riesgo aceptable debido a que el resultado se establece por debajo de 1, mientras que todos los demás grupos tiene un nivel de riesgo inaceptable indicando que se encuentran en riesgo por exposición a cromo total ya que la dosis suministrada es mayor a la dosis de referencia que se ha establecido para esta sustancia.

En cuanto al género las mujeres entre los 0-5, 15-59 y mayores de 60 años tiene un riesgo mayor al de los hombres, debido a que las mujeres poseen una masa corporal inferior a la de los hombres, mientras que el grupo etario de las mujeres que va de 6-14 años posee un nivel de riesgo menor al de los hombres, ya que en esta edad la masa corporal es mayor en las mujeres que en los hombres.

Por otro lado en los anexos 2, 3 y 4 se observan los mapas de Villapinzón, Chocontá y Suesca respectivamente donde se muestran las áreas cubiertas por pastos asociados con ganadería y cultivos; y en las tablas 8,15 y 21 se muestran los usos asociados al agua del rio Bogotá por cada vereda en los tres municipios de estudio. Por ello cabe resaltar que el riesgo se halló por municipio teniendo en cuenta que en todas las veredas se hace consumo o algún tipo de uso con el agua del rio Bogotá. Potencializar el efecto depende específicamente de la absorción del toxico lo que indica que el consumo de productos que hayan estado en contacto con esta agua como leche, carne y alimentos agrícolas, además de usar el agua para actividades domésticas puede aumentar los efectos adversos, ya que el contacto con el tóxico en mención se da en mayor cantidad.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el municipio de Villapinzón se tuvieron en cuenta 2 puntos de muestreo como se mencionó anteriormente, correspondientes a aguas arriba y aguas abajo del casco urbano de Villapinzón, al ser este el municipio que cuenta con el nacimiento del río Bogotá en el páramo de Guacheneque es de gran importancia para el país; según los muestreos realizados se observó que existe una alta contaminación de esta fuente hídrica desde muy cerca de su nacimiento, siendo las curtiembres y cultivos principalmente de papa los mayores contribuyentes a dicha contaminación, esto genera una problemática de salud a los habitantes de la zona ya que de las 17 veredas que tiene el municipio 9 de ellas hacen uso de esta agua para actividades domésticas donde está el consumo de la misma, y las otras 8 igualmente hacen uso del agua pero para otras actividades como el riego de los cultivos y usos industriales, el riesgo del consumo de esta agua se agrava aún más en la parte rural del municipio ya que el acueducto cubre solo el 76,6% de esta zona.

Según los resultados de la evaluación de riesgo realizada se obtuvo una modelación de las concentraciones de cromo donde se pudo observar que el punto aguas abajo de Villapinzón fue el que obtuvo mayores valores teniendo en cuenta las características geomorfológicas del cauce, también se hallaron las dosis suministradas y el nivel de riesgo para los 4 grupos etarios establecidos, donde las Ds para el grupo de 0-5 años es bajo esto se debe a que la tasa de contacto de un niño es menor que la de un adulto es decir un niño consume en promedio 1 litro de agua al día mientras que un adulto consume aproximada 2 litros de agua al día [19], además la frecuencia de exposición en este grupo es muy baja debido al corto periodo de vida, en el grupo de 6-14 años las dosis suministradas aumentan, puesto que la frecuencia y tasa de contacto aumenta por ello se establece que existe un riesgo no tolerable por parte de esta población por el consumo de cromo en el agua, en el grupo etario de 15-59 y mayores a 60 años, existe un riesgo aún más alto en los dos puntos de muestreo lo que conlleva a que estas personas hubieran podido experimentar diferentes enfermedades por el consumo de esta agua.

En el municipio de Chocontá se estableció un único punto de muestreo, ubicado después del casco urbano de Villapinzón y antes de zona urbana de Chocontá, debido a la localización de esta estación se puede evidenciar que no solo afronta las problemáticas propias de Chocontá sino que además como se ha mencionado de manera reiterativa se ve afectado por daños que se vienen causando desde muy cerca al nacimiento del río, debido a que el 70% de la población en Chocontá se dedica a la producción agrícola de cultivos como papa, fresa, arveja entre otros, generando una mayor contaminación al río y además de las 22 veredas que tiene el municipio 14 hacen uso doméstico, mientras que las 8 restantes usan el agua para riego, uso industrial, abrevaderos, entre otras. En zona rural del municipio se cuenta con una cobertura del servicio de acueducto de tan solo el 63.41% incrementado el riesgo debido al consumo del agua proveniente del río.

En la evaluación de riesgo se obtuvieron datos de la modelación de cromo en donde este punto igual que el de aguas abajo de Villapinzón obtuvieron los valores más altos de concentración de cromo, también se hallaron datos de dosis suministrada como nivel de riesgo para los grupos etarios determinados, siendo la Ds para los niños menores de 5 años muy baja y menor a la dosis de referencia como se ha mencionado, esto se debe a que la tasa de contacto de un niño de esta edad es decir el agua consumida es poca, igualmente debido a que la edad la frecuencia de exposición es menor. Para el grupo de 6 a 14 años la dosis suministrada y el nivel de riesgo aumenta muy significativamente de manera que el riesgo se toma como inaceptable debido a que excede el valor uno, esto se debe a una mayor frecuencia de exposición y duración, según datos de población para el año 2014 se contaba con 3.929 niños entre este rango edad, lo que significa que debido al contacto que tuvieron con el agua del río pudieron desarrollar una serie de enfermedades.

Se obtuvo que para las personas del grupo etario de 15 a 59 y mayores a 60 años la Ds y el nivel de riesgo aumentan de manera significativa, encontrado un riesgo inaceptable.

Por último en el municipio de Suesca se estableció un único punto de muestreo en la mitad del municipio limitando con Chocontá, en la modelación realizada se pudo observar que en Suesca existe una pequeña recuperación del río en cuanto a sus características físico químicas esto se debe a que el área del cauce en esta zona aumenta existiendo así una mayor disolución de contaminantes, sin embargo el problema no termina allí ya que al igual que en los dos municipios mencionados anteriormente existe un problema de contaminación al río debido a los cultivos de flores que existen en la zona y a los vertidos por parte de la población. Suesca tiene 13 veredas, de las cuales 9 hacen uso del agua para uso doméstico y las 4 restante para actividades agrícolas, pecuarias e industriales; el municipio tiene una cobertura de acueducto del 84,74% en la zona rural, aumentando así el riesgo para las personas que no cuentan con este servicio.

En cuanto a la evaluación de riesgo realizada en este municipio se obtuvo que para el grupo de 0-5 años no se tiene un nivel de riesgo significativo, mientras que para los grupos de 6-14, 15-59 y mayores a 60 años se evidencia un riesgo inaceptable debido a que el nivel del riesgo supera el número uno, esto indica que la exposición máxima al consumo de cromo en el agua es mayor a la recomendada teóricamente. Cabe resaltar que el punto de muestreo donde el riesgo fue mayor corresponde aguas abajo del casco urbano de Villapinzón. A su vez es posible evidenciar que el riesgo es distintivo por género siendo el género femenino el que presenta un mayor riesgo, esto debido a características propias del ser humanos como lo es la masa corporal.

Además hay que tener en cuenta la normativa para el consumo de agua donde según la Resolución 2115 del 2007 se establece un máximo de 0,05 mg/l de cromo total para consumo de agua [60] y la Guía para la calidad del agua potable de la

Organización Mundial de la Salud, sugiere el mismo valor [61] y según los datos obtenidos en el muestreo los valores de cromo total son entre 10 y 29 mayores según lo establecido por la Resolución y la Guía.

Aunque en todos los municipios se evidencian un riesgo no tolerable, condicionado a las características morfológicas de cada persona, el efecto en el municipio de Villapinzón puede ser mayor por la influencia de las actividades agrícolas y ganaderas que se observan en el anexo 3 en el río Bogotá, específicamente la presión ejercida en las veredas de: Chasquez, la merced, Chiguala, Reatova y Casa Blanca; en Choconta Veracruz, Aposentos, Agua Caliente y en Suesca la vereda Cacicazgo.

Diferentes estudios realizados en la cuenca alta del río Bogotá por distintas entidades, afirman que este cuerpo de agua tiene un problema de contaminación alto, aun así según la CAR el río presta servicios ecosistémicos como lo son el uso para consumo humano y agropecuario, los cuales no deberían presentarse por el alto grado de contaminación de este ya que como lo demuestra este estudio se pueden llegar a presentar diversas enfermedades al hacer uso de esta agua.

Algunos estudios han sido direccionados a determinar principalmente el riesgo por el uso del agua del río Bogotá para riego en donde se ha evidenciado que si existe un riesgo a la salud por el consumo de vegetales que son regados con aguas que contienen trazas de metales pesados [63], no se ha determinado por consumo directo del agua por vía oral, existen también diversos estudios donde se determina la bioacumulación de cromo en pescados, en un caso específico el del capitán de la Sabana donde se encontraron concentraciones altas de cromo en las branquias y músculos de este pez [64], lo que permite corroborar que las concentraciones de cromo en este tramo son altas y pueden colocar en peligro diferentes formas de vida.

7 IMPACTO SOCIAL

Con este proyecto se puede demostrar que existe un riesgo para la salud de las personas que consumen el agua del río Bogotá en los municipios de Villapinzón, Chocontá y Suesca. Aunque no se haya hallado el riesgo para el riego de los diferentes cultivos y como alimento para el ganado es importante que se tenga en cuenta que las concentraciones que existen en este tramo para cromo total son muy altas y que de todas las vías de exposición posibles siempre van a llegar estas concentraciones al ser humano aunque sea en menor cantidad.

Es importante tener en cuenta que este proyecto es retrospectivo y que en la actualidad el tramo de estudio puede estar en mejor o peor condición sin embargo este proyecto sirve como base para que se les obligue a las curtiembres a no verter sus aguas al río Bogotá sin antes hacerles un adecuado tratamiento, y de igual formas tener un control en los cultivos de hortalizas, legumbres, flores y demás para que estos no utilicen plaguicidas que contengan cromo o distintos metales pesados en su composición.

8 CONCLUSIONES

La modelación del transporte de contaminantes permitió obtener datos de concentración de cromo a diferentes distancias, aunque no se tomaron en cuenta factores climáticos (precipitación, evapotranspiración, escurrimiento entre otros) y puntos de vertido. Indicando que las concentraciones podrían variar al usar un modelo mucho más completo y sofisticado.

El punto de muestreo que obtuvo una mayor concentración de cromo total corresponde a aguas abajo del casco urbano de Villapinzón, esto se debe a que en este municipio para los años de estudio se concentraban un gran número de curtiembres en la zona, adicional a esto los cultivos de papa contribuyeron al aumento de las concentraciones de cromo al utilizar plaguicidas que en su composición química contienen cromo, sin embargo en todos los puntos de muestreo se obtuvo un nivel de riesgo no tolerable para los grupos de edades de 6-14, 15-59 y mayores de 60 años lo que supone afectaciones en la salud de estas personas, mientras que en el grupo de 0-5 en todos los puntos de muestreo se obtuvo un riesgo tolerable es decir que no existen afectaciones por el consumo del agua contaminada por cromo ya que la frecuencia de exposición es baja en comparación con los otros grupos etarios. Por otro lado no se podría definir un grupo etario más vulnerable que el otro porque todo depende de la duración y frecuencia de la exposición al contaminante y esto requeriría un estudio por persona.

La evaluación de riesgo permite determinar el nivel de daño de una población, observando que varía de acuerdo al género y la edad para el cual se halle este indicador. Por lo tanto es importante que se discrimine por dichos grupos a la hora de aplicar la metodología de evaluación a una población

9 RECOMENDACIONES

Para futuros estudios, se aconseja hacer una nueva campaña de muestreo con el fin de determinar si las concentraciones de cromo total han aumentado o disminuido en la actualidad, de igual manera establecer vías de exposición indirectas como lo podrían ser agua, kikuyo, vaca, leche o carne y ser humano con el fin de determinar cuál es la bioacumulación en cada uno y cuánta de la concentración que está en el agua llega al ser humano.

En cuanto a los modelos se sugiere profundizar en modelos de metales pesados existentes, con el fin de determinar las ventajas y desventajas de los mismos ya que actualmente dicha información es muy limitada, así mismo proyectos direccionados a desarrollar modelos de metales pesados completos y fáciles de manejar, los cuales tengan en cuenta los factores climáticos de un sistema complejo como el de río, además de puntos de vertido de los contaminantes. Dicha sugerencia no solo es dirigida a la academia también a entes gubernamentales, ya que actualmente la mayoría de modelos usados son dirigidos a modelar sustancias menos complejas, con lo cual la representación de sustancias complejas y dañinas como los metales pesados se dejan de lado, siendo estos muy importantes por el efecto adverso que causan en el ambiente y en el componente social.

10 BILIOGRAFÍA

- [1] Caracol radio, "CAR reveló estudio que evidencia factores más comunes de contaminación del río Bogotá," Junio, 2016. [En línea]. Disponible en: http://caracol.com.co/emisora/2016/06/09/bogota/1465506869_743244.html [Último acceso: 27 02 2018].
- [2] J. Raisman y A. M. González, "Procedimiento para el curtido de cromo," *Hipertextos del área de la biología*, Argentina, Universidad Nacional del Nordeste, 2015, p. 1500.
- [3] J. Téllez, M. Carvajal & A. M. Gaitán, "Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembres," *Revista de la Facultad de Medicina Universidad Nacional*, vol. 52, nº 1, p.58-61, 2010.
- [4] L. N. Martínez, "El recurso hídrico en el cultivo de pap[4a: implicaciones socioculturales y ambientales," *Revista de trabajo social Universidad Nacional*, vol. 16, nº 16, pp. 205-219, 2014.
- [5] N. P. Molina, P. Aguilar y C. Cordovez, "Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana," *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular Universidad de la Salle*, vol. 8, nº 1, pp. 72-73, 2010.
- [6] ATSDR, "Toxicological Profile for Chromium," 12 05 2014. [En línea]. Available: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=62&tid=17>. [Último acceso: 22 03 2018].
- [7] E. Muñoz, E. López, Blanco, "El efecto del cromo en el síndrome metabólico," tesis, facultad de farmacia, *universidad Complutense*, Madrid, 2016.
- [8] Alcaldía de Villapinzón Cundinamarca, "Información general municipio de Villapinzón," [En línea]. Disponible en: http://www.villapinzon-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml#identificación. [Último acceso: 22 03 2018].
- [9] Alcaldía de Chocontá, "Información general municipio de Chocontá," Diciembre 2007. [En línea]. Disponible en: <https://choconta.wordpress.com/informacion-general/>. [Último acceso: 22 03 2018].
- [10] Alcaldía Municipal de Suesca Cundinamarca, "Plan de Desarrollo Suesca Cundinamarca 2012 - 2015," pp. 1-10, 2012.

[11] Alcaldía de Chocontá, "Economía, actividades económicas", 2009. [En línea]. Disponible en: <https://choconta.wordpress.com/informacion-general/economia/>. [Último acceso: 22 06 2018].

[12] T. Srinath, T. Verma, P.W Ramteke, S.K. Garg, "Chromium (VI) biosorption and bioaccumulation by chromate resistant bacteria," *Chemosphere*, vol. 48, pp.427-435, 2002

[13] Departamento administrativo nacional de estadística, (DANE), "Censo experimental municipio de Villapinzón," Octubre, 2001.

[14] E. Romero, "Identificación y evaluación de los impactos ambientales, de la intervención por parte de la población en la zona de reserva forestal Cuchillas del choque en la vereda Retiro de los blancos del municipio de Chocontá," tesis, Universidad libre de Colombia, Julio 2014.

[15] C. Grisales, M. Canesto, "Identificación y análisis de los factores de riesgo en el municipio de Suesca Cundinamarca para el fortalecimiento del esquema de ordenamiento territorial," pp. 19-40, 2017.

[16] Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá - Orarbo, "contaminación del río bogotá por curtiembres en Chocontá," [En línea] Disponible en: <http://www.observatorioambientalcar.co/vercaso.php?id=43>. [Último acceso: 22 07 2018].

[17] M. Aldas, "Uso de insecticidas en el cultivo de papa (*solanum tuberosum*), por los socios de la corporación de asociaciones agropecuarias del Canton quero "coagro-q". pp. 25-39, 2012.

[18] N. Herrera Duran, "El 'monstruo' de Suesca," *Elespectador.Com*, Diciembre,. 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/el-monstruo-de-suesca-articulo-531502>. [Último acceso: 22 06 2018].

[19] M.L. Morales, M. Loh, & D. Moreno "Transferable Training Module for Promoters on Risk Assessment in the Environment," 2013. [En línea]. Disponible en: <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/learning-modules/promotor-modules/spanish/riesgo>. [Último acceso: 22 08 2018].

[20] Q. Wang, S. Li, P. Jia, C. Qi and F. Ding, "a review of surface water quality models," 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc3703326/>. [Último acceso: 11 04 2018].

[21] A. Akbar, "Transporte de sustancias inertes y reactivos," *Universidad Politécnica de Cataluña*, Diciembre, 2011.

- [22] J.D.Vasquez, "Modelación del transporte de Solute en Ríos de montaña: una mirada CFD aplicada," tesis, departamento de ingeniería civil, *universidad EAFIT*, Medellín, 2013.
- [23] Chemistry libretexts, "Solute and Solvent," vol. 2018, 2016. Available: [https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Introductory_Chemistry/Book%3A_Introductory_Chemistry_\(CK-12\)/15%3A_Water/15.04%3A_Solute_and_Solvent](https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Introductory_Chemistry/Book%3A_Introductory_Chemistry_(CK-12)/15%3A_Water/15.04%3A_Solute_and_Solvent).
- [24] J.F. Bedoya, "Modelo de simulación de transporte de metales pesados en la cuenca baja del rio Tunjuelo," tesis, facultad de ingeniería ambiental y sanitaria, *Universidad de la Salle*, Bogotá, 2007.
- [25] J. Cubillos, "Transporte de contaminantes en sistemas fluviales y evaluación de la aplicabilidad del modelo WASP en las cuencas de los ríos Elqui y Choapa, región de Coquimbo, Chile," *Universidad de la Serena*, 2013.
- [26] Díaz & Díaz, "Transporte y modelación de la calidad del agua en el río Bogotá" *Universidad de los Andes*, 2002.
- [27] J.M. Cuello, A.E. Trento, A.M. Álvarez, "Transporte de sedimentos y metales pesados con WASP 7.0. Mecánica Computacional", Volumen XXV, Santa Fe, Argentina, pp. 1425-1440, 2006.
- [28] T.Wool, R. Ambrose, J. Martin, E. Comer, "Water quality analysis simulation program (WASP) version 6.0 draft: user's manual. U. S. Environmental Protection Agency," pp. 267, 2001
- [29] J. Schnoor, "environmental modeling fate transport pollutants de Schnoor Jerald," 1996
- [30] A. Menéndez, "Transporte de contaminantes en el medio acuático," *universidad tecnológica Nacional*, 2010.
- [31] J.Chang, J. Guerrero, "Analysis of Hexavalent Chromium by the Peroxide-Alkaline Method (Complexiometric-spectrophotometric oxidation techniques)," *University of Northern lowce-Chemistry Department*, 1979.
- [32] J. Vargas, L. Ayala. "Estimación del coeficiente de dispersión longitudinal en ríos anchos, de profundidad y pendiente escasa. Aplicación al río Bío Bío, Chile," *Universidad de Chile*, 2001.
- [33] M.J Pyror, "Process for improving corrosion resistant characteristics of chrome plated aluminum and aluminum alloys," Washington DC, 1978

- [34] M.R. Hutcheson, "Waste load allocation for conservative substances to protect aquatic organisms". *Water resources research*, vol. 28, no 1, pp. 215-220,1992
- [35] IDEAM, "Protocolo para el monitoreo y el seguimiento del agua," 2007.
- [36] United States Environmental Protection Agency, "Water Quality Standards Handbook," 1994.
- [37] Gobernación de Cundinamarca, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Mapa de uso actual y cobertura vegetal de los suelos del departamento de Cundinamarca, " 2003
- [38] Cámara de Comercio de Bogotá, Caracterización económica y empresarial," SD. [En línea]. Disponible en: https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/2874/6217_caracteriz_e_mpresarial_almeidas.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 20 01 2019]
- [39] Alcaldía municipal de Chocontá Cundinamarca, "Plan de desarrollo 2016 - 2019 Chocontá Cundinamarca," 2016. [En línea]. Disponible en: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/zzsuescaplan%20de%20desarrollo%202012-2015.pdf> [Último acceso: 20 01 2019]
- [40] [I. Charres, D. González. "Evaluación de la calidad del aire en el municipio de Suesca Cundinamarca," 2016.]
- [41] P. A. Boada, "Caracterización climatológica de la cuenca alta del río Bogotá," tesis, Facultad de ingeniería programa de ingeniería ambiental y sanitaria, Universidad de la Salle, Bogotá, 2011.
- [42] Blogger, "Páramo Guacheneque y RFP Nacimiento del Río Bogotá", 2015. [En línea]. Disponible en: <http://paramoguachenequecsd.blogspot.com/p/tipos-de-ecosistemas.html> [Último acceso: 20 01 2019]
- [43] Blogger, "El páramo todo sobre el Páramo de Guacheneque y Villapinzón, "2016.[En línea]. Disponible en: http://el-paparamo.blogspot.com/2016/06/la-biodiversidad-del-paramo_9.html[Último acceso: 20 01 2019]
- [44] Colombia más positiva. "Siete cueros", 2016. [En línea]. Disponible en: <http://colombiamaspositiva.com/agro/siete-cueros.html>[Último acceso: 20 01 2019]
- [45] Biopedia, "Musgos Briófitos", 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.biopedia.com/musgos-briofitos/> [Último acceso: 25 01 2019]
- [46] Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt, CAR, Fundación Endesa Colombia, "informe final recorrido Suesca," 2013

- [47] La Naturaleza, "Eucalipto", 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.lanaturaleza.net/propiedades-medicinales-la-planta-eucalipto/>[Último acceso: 28 01 2019]
- [48] E. Niño, "Diseño urbano en bordes hídricos de pequeños poblados," Caso Río Bogotá en Villapinzón Cundinamarca, Universidad Nacional de Colombia, 2016.
- [49] Ministerio de minas y energía instituto colombiano de geología y minería ingeominas, "Geología de la sabana de Bogotá," marzo 2005. [En línea] Disponible en https://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe_geologia_sabana_bta.pdf [Último acceso: 20 01 2019]
- [50] DANE, "Censo Nacional de la papa," 2010 https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/censo_papa_villapinzon.pdf.
- [51] L. T. Siachoque, "Validación de dos métodos de evaluación de impactos ambientales provenientes del manejo de los residuos sólidos del municipio de Chocontá," tesis, Facultad de ingeniería ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2014.
- [52] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2014). Boletín del Índice de calidad del agua en corrientes superficiales "ICA" 2013 I- II.
- [53] I. Bernal, "Conflictos socioambientales en el páramo de Guacheneque y estrategias de conservación para el ordenamiento ambiental regional," Universidad Nacional de Colombia, 2017.
- [54] Alcaldía del municipio de Chocontá, "División política", 2019. [En línea]. Disponible en: <https://choconta.wordpress.com/informacion-general/division-politica/>[Último acceso: 28 01 2019]
- [55] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, "Conservación y Manejo Sostenible de los Páramos Cristales, Castillejo, Cuchilla el Choque y Nacimiento Río Bogotá," 2015.
- [56] Gobernación de Cundinamarca, "Estadísticas de Cundinamarca 2011-2013" [En línea]. Disponible en: http://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/2a613454-7047-4a52-a14d-e71ccd85fd0a/Cap_05.pdf?MOD=AJPERES&CVID=kNRnQB6 [Último acceso: 27 01 2019]
- [57] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, "Boletín hidrometeorológico mensual jurisdicción CAR mayo de 2014", 2014.

[58] Organización Mundial de la Salud, "Patrones de crecimiento", 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.who.int/childgrowth/standards/peso_para_edad/es/ [Último acceso: 20 01 2019]

[59] Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), "Evaluación IRIS", 2017. [En línea]. Disponible en: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?&substance_nmbr=144 [Último acceso: 20 02 2019]

[60] Ministerio de la protección social, Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, "Resolución 2115 del 2007", 2007. [En línea]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf [Último acceso: 20 02 2019]

[61] Organización Mundial de la Salud, "Guías para la calidad del agua potable" 2006, [En línea]. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwq3_es_full_lowres.pdf [Último acceso: 20 02 2019]

[62] Rosselli L, Jaramillo A, Cabrera LM. "Transformación Ambiental del curso alto del río Bogotá". Informe Final de Investigación. Bogotá: Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales; 2014. 120 p.

[63] Molano Y, García P. "evaluación del riesgo ambiental asociado a la toxicidad del carbofurano en una finca productora de lechuga del municipio de Madrid, Cundinamarca". Universidad de la Salle.

[64] Rodriguez A, Gonzalez J, Suárez R. "Bioacumulacion por metales pesados en el capitán de la sabana, habitante de la cuenca alta del río Bogotá". Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola, Vol.3, no 3, 2007

[65] La Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades ATSDR. "Módulo III - Introducción a la evaluación de riesgo" [En línea]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/3/es_lectures.html

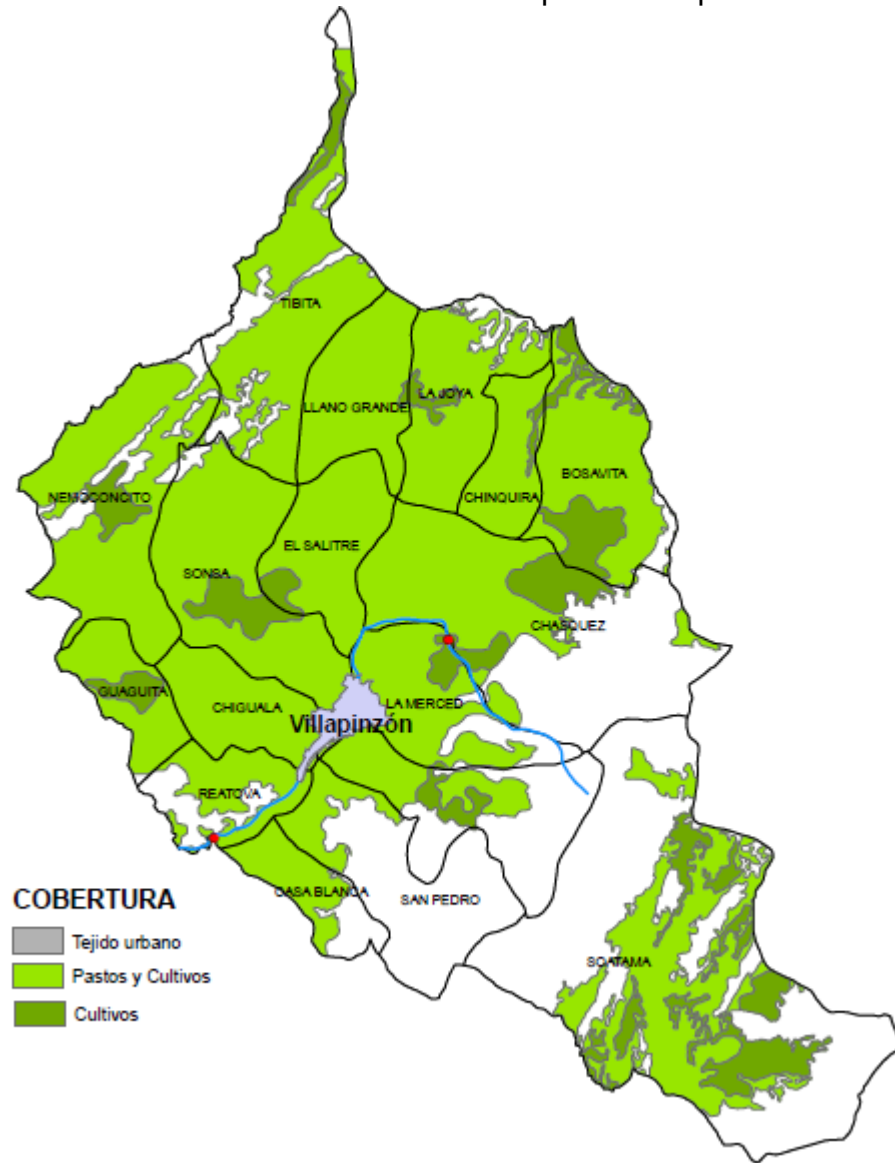
11 ANEXOS

Anexo 1. Metodología utilizada para la determinación de cromo

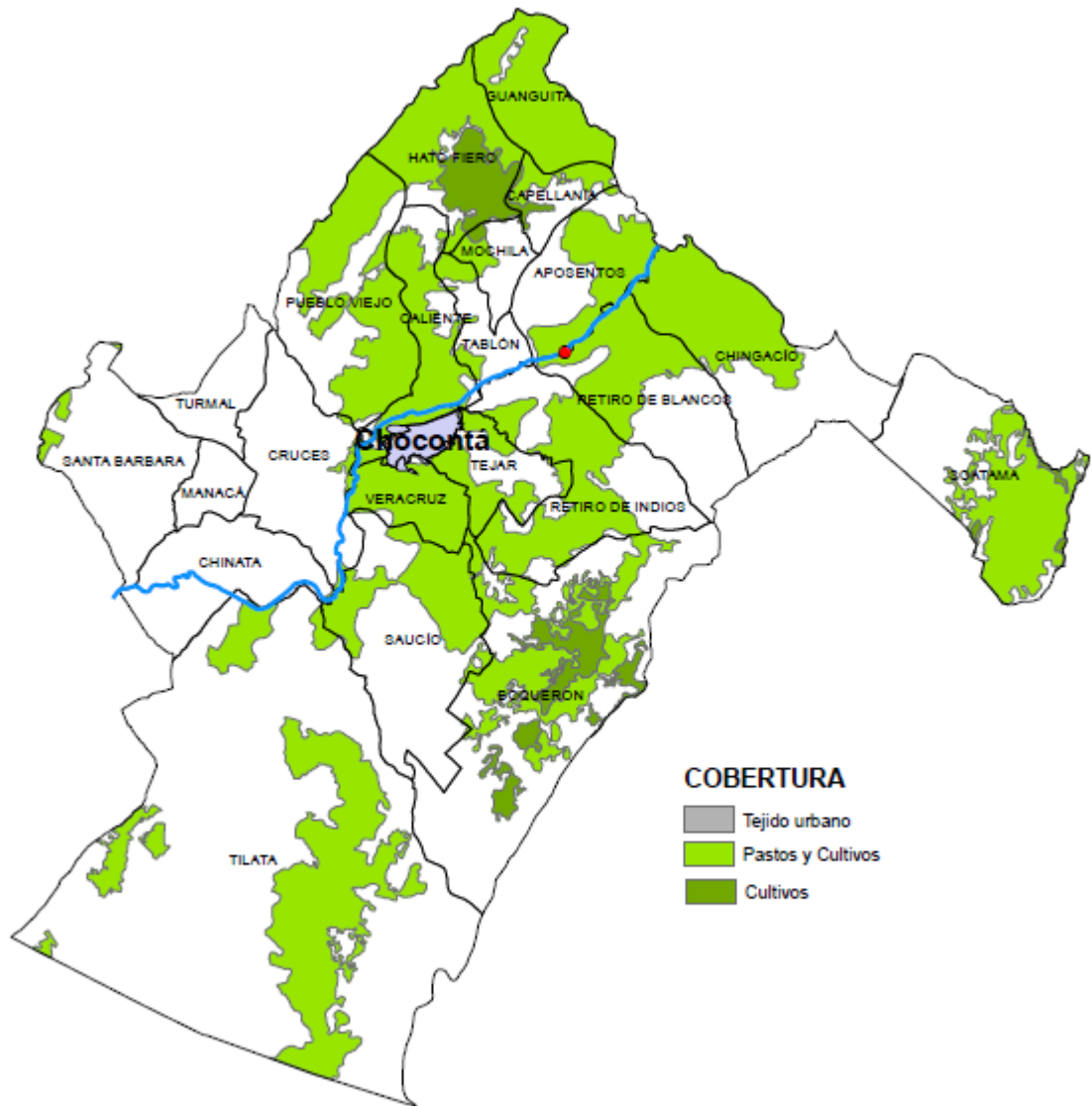
VARIABLE	MÉTODO ANALÍTICO	METODOLOGÍA
Cromo Total [42]	Método: Peróxido-Alcalino (Técnicas de oxidación compleximétrica-espectrofotométrica)	<p>Equipos y Materiales</p> <ul style="list-style-type: none"> · Beakers de 200 mL capacidad · Balones aforados de 100 mL de capacidad · Celdas de Cuarzo · Espectrofotómetro a 372 nm <p>Reactivos</p> <ul style="list-style-type: none"> · NaOH · H₂O₂ · Agua desionizada <p>Preparación de reactivos</p> <ul style="list-style-type: none"> · <u>NaOH (2N)</u>: Pesar 80 gramos de NaOH y aforar a 1 litro de agua desionizada. · <u>H₂O₂ al 30%</u>: Tomar 30 mL de peróxido de hidrógeno y aforar a 100mL de agua desionizada. <p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> · Pipetear con pera, exactamente 50 mL de la muestra de agua (el agua debe ser transparente, si tiene color o residuos orgánicos: se debe filtrar y el color se debe remover). · Colocar este volumen en beaker de 150-200 mL de capacidad, muy limpio. · Agregar 10mL de NaOH 2N y 5 mL de H₂O₂ al 30%, cubrir el beaker con vidrio de reloj muy limpio y calentar la solución a 80°C durante 90 minutos. · Después, dejar enfriar esta solución a temperatura del laboratorio y luego transferir a un balón aforado de 100 mL de capacidad. Recoger los pequeños lavados del beaker y colocarlos en el balón aforado, asegurándose de aforar a 100mL. · Agitar y mezclar bien la solución y medir la Absorbancia a 372 nm. · Tomar la lectura del blanco · Usar preferiblemente agua desionizada y celdas de cuarzo

Fuente: J.Chang, J. Guerrero J, 1979 [42]

Anexo 2. Cobertura del municipio de Villapinzón



Anexo 3. Cobertura del municipio de Chocontá



Anexo 4. Cobertura del municipio de Suesca

